

**STRÖMUNGSMODUL MIT STRÖMUNGSKAMMERN FÜR DREI
ODER VIER FLUIDE**

[71] **Applicant:** Ballard Power
Systems Inc.

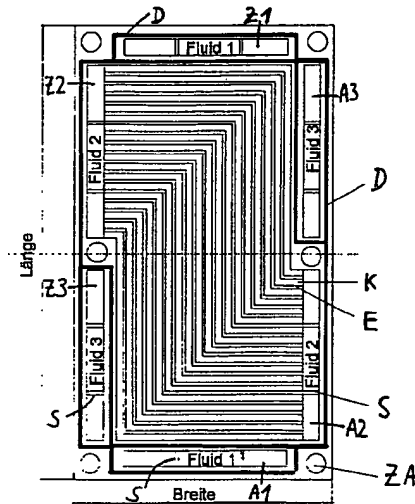
[72] **Inventors:** Schmid, Ottmar

[21] **Application No.:** DE19743067

[22] **Filed:** 19970930

[45] **Published:** 19990729

[Go to Fulltext](#)



[57] **Abstract:**
NotAvailable

[51] **Int'l Class:** H01M00802 H01M00804 F15D00100

B₁

German Patent Application
No. 100 41 532.6-45
Honda Giken Kogyo K.K.
23423P DE/LAgh

TRANSLATION OF A PASSAGE FROM DOCUMENT
DE 197 43 067 C2
CITED BY THE EXAMINER IN THE OFFICE ACTION

Page 4, line 53 to page 11, line 31:

The invention will be described in detail with reference to embodiments. In the drawings:

Fig. 1 shows a flow plate for a flow module according to the invention with flow chambers for three fluids (three-chamber flow module);

Figs. 2, 3, 4 show a further flow plate for a flow module according to the invention with flow chambers for three fluids (three-chamber flow module);

Fig. 5 shows the fluid flow path within a flow module according to the invention when used as a fuel cell stack (three-chamber flow module);

Fig. 6 shows the fluid flow path within a flow module according to the invention when used as a fuel cell stack with stack-integrated air humidification (three-chamber flow module);

Fig. 7 shows the fluid flow path within a flow module according to the invention when used as a membrane distillation module (three-chamber flow module);

Fig. 8 shows a flow plate for a flow module according to the invention with flow chambers for four fluids (four-chamber flow module);

Fig. 9 shows a further flow plate for a flow module according to the invention with flow chambers for four fluids (four-chamber flow module);

Figs. 10, 11 each show fluid flow paths within a flow module according to the invention when used as a fuel cell stack with stack-integrated humidification and cooling of the process air (four-chamber flow module);

Fig. 12 shows fluid flow paths within a flow module according to the invention when used as a fuel cell stack with stack-integrated humidification (four-chamber flow module);

Fig. 13 shows fluid flow paths within a flow module according to the invention when used as a fuel cell stack with stack-integrated humidification and cooling of the process air (four-chamber flow module).

Three-Chamber Flow Module

Shown in an exemplary manner in Fig. 1 is a flow plate for a flow module with flow chambers for three fluids (three-chamber flow module).

A three-chamber flow module of the simplest design consists of a plurality of flow plates disposed one on top of the other or side by side and optionally two or more end plates. The individual flow chambers are implemented by the flow channels K in the flow plates. The flow plates may be provided with flow channels on one side or on both sides.

The flow plate shown in Fig. 1 has flow channels K for a fluid (in this case fluid 2) which, as a whole, form a substantially rectangular flow field. Also shown are the admission chamber Z2 for fluid 2 and the related discharge chamber A2 for fluid 2 which communicate with the flow channels K. Additionally, in the flow plate, the admission and discharge channels Z1, Z3, A1, A3 for the two other fluids (fluid 1 and fluid 3) are arranged. If the flow plates are disposed in alignment one on top of the other or side by side for integrating the flow module, the admission and discharge chambers of all flow plates form admission and discharge chambers for the individual fluids, with seals D between the individual flow plates providing for sealing among the fluids. In the embodiment shown, the admission and discharge chambers Z1, Z2, Z3, A1, A2, A3 are integrated into the flow plates, i.e. they form through-holes in the flow plate. In a further embodiment which is not shown here, the admission and discharge chambers are not part of the flow plates and are added to the flow plates as a separate member.

The admission and discharge chambers are advantageously designed to be rectangular to allow the fluid to be supplied to the flow channels

of the plates as homogeneously as possible. In the larger admission and discharge chambers, in particular, reinforcing stays S are advantageously arranged for providing mechanical stabilization as the fluid pressure in the admission and discharge chambers seeks to urge the longitudinal sides of the plate elements outwards. The flow plates may advantageously be braced by tension rods ZA arranged in the bores of the flow plates provided. For sealing against the exterior, as well as between the fluids, the seals D are preferably used as encircling seals as shown in Fig. 1.

The flow field for fluid 2 shown in Fig. 1 has a point-symmetrical structure of the channels K about the center of the plate as well as the following additional features:

- (a) each flow channel K for fluid 2 extends from the admission chamber Z2 to the discharge chamber A2;
- (b) all of the channels K for fluid 2 have identical total length from the admission chamber Z2 to the discharge chamber A2;
- (c) each channel K for fluid 2 has two deflections in direction of 90°;
- (d) the flow channels K for fluid 2 extend in parallel with one another from the admission chamber Z2 to the discharge chamber A2;
- (f) the fluid admission chamber Z2 and the fluid discharge chamber A2 for fluid 2 extend substantially over the entire width of the flow field;
- (g) the fluid admission chambers Z1, Z3 and the fluid discharge chambers A1, A3 for fluid 1 and fluid 3 extend substantially over half the length of the flow field;
- (h) the flow channels K for fluid 2 go out over the whole length of the fluid admission chamber Z2 from it;
- (i) the flow channels K for fluid 2 open out over the whole length of the fluid discharge chamber A2 into it.

A required specific average fluid dwell time adaptation can be achieved by extending the length of the channel while retaining the overall size of the plate.

According to equation 1, the pressure drop per channel length is essentially defined by the dimensions of the channel cross-section. The length of the admission and discharge chambers determines the length of the channels at constant overall size of the plates. The shortening of the admission and discharge chambers and thus the reduction in the cross-section of flow leads to a small increase in pressure loss in these chambers. However, since, at the same time, the pressure loss across the whole channel is correspondingly higher due to their extension, there is nevertheless a homogeneous flow distribution from the admission chamber to the flow channels.

The length/width ratio of the flow plate, or of the flow field, can be matched to the concrete requirements. Thus, a high value of the length/width ratio will yield high homogeneity of flow (plug flow).

The flow profile permits counter-flow or co-current flow of the fluids.

Basically, the ratio of the flow cross-sections of the admission chamber and the discharge chamber to the sum of all cross-sections of the flow channels of one plate can be adapted by dimensioning the length of the admission chamber and the discharge chamber.

The flow channels can be produced by providing the surface of the flow plates with depressions or, as in the case of Fig. 1, with elevations E. In further preferred embodiments, gaps formed in the elevations create connections between the parallel channels. This allows equalization of concentration to take place.

The following table indicates, by way of example, possible materials and manufacturing methods for the flow plates:

Materials	Possible Manufacturing Methods of the Channels
Metals (Alloys)	<ul style="list-style-type: none"> - stamping sheets; - etching the channels; - machining the plates; - punching the gaps; - eroding the ducts.
Surface-Treated Metals	<ul style="list-style-type: none"> - treating the surface of the metals with conductive substances (conductive varnish, sprayed graphite, etc.); - the channels and gaps are preferably manufactured as stated above.
Non-Metals	
(a) graphite foils or foils	<ul style="list-style-type: none"> - stamping the graphite foils; - machining the graphite plates; - producing the plate geometry by means of a mold;
(b) conductive plastics or plastic composites	<ul style="list-style-type: none"> - injection-molding the plates; - extruding the plates; - machining; - punching the plates;
(c) elastomer materials (electrically conductive)	<ul style="list-style-type: none"> - extruding the plates/foils; - casting the plates - punching the plates.

In an exemplary embodiment, in a flow module according to the invention, the following flow fields are chosen for the flow chambers of the three fluids:

chamber for fluid 1: flow field with linear parallel channels (without deflections), e.g. for the cooling fluid in a fuel cell;

chamber for fluid 2: flow field as shown in Fig. 1, having linear parallel channels and two deflections, the group of parallel channels extending over the entire width of the flow field, e.g. for the reactant in a fuel cell;

chamber for fluid 3: flow field for fluid 2 analogously, e.g. for the oxidant in a fuel cell.

The flow plates may, for example, be integrated to form a flow module as follows:

The flow module having a plurality of flow plates provided with channels K on one or two sides is preferably pressed using at least two end plates. To this end, bolts advantageous for pressing are used which are located outside or inside the flow plates. The tension rods Z are preferably integrated into the flow plates according to Fig. 1, or are passed directly through the through-holes of the admission and discharge chambers. Also, in a further embodiment, the pressing force is applied by means of straps surrounding the flow module.

Fig. 2 shows a further flow plate for a three-chamber flow module. The difference over the flow plate according to Fig. 1 lies in the fact that the fluid admission chamber and the fluid discharge chamber for fluid 1 and the group of parallel channels extending from, and opening out into, them essentially take up one third of the width of flow field. The flow channels of fluid 1, which are not apparent from Fig. 2, but are constructed in an analogous manner to the channels for fluid 1 in Fig. 3, are serpentine with four 90° deflections. The serpentine shape produces a channel elongation resulting in an increase in the fluid dwell time which, to this extent, is required for corresponding applications. Using this flow plate shown, the following flow module may advantageously be constructed:

chamber for fluid 1: flow field as described above and analogous to the flow field shown in Fig. 3;

chamber for fluid 2: flow field as shown in Fig. 2;

chamber for fluid 3: flow field analogous to Fig. 2.

Fig. 3 shows a further flow plate for a three-chamber flow module.

The flow channels of fluid 1 are serpentine with four 90° deflections. The serpentine shape produces a channel elongation resulting in an increase in the fluid dwell time. Based on the flow field shown, the following flow module can be implemented:

chamber for fluid 1: flow field as shown in Fig. 3;

chamber for fluid 2: flow field analogous to Fig. 3;

chamber for fluid 3: flow field with linear parallel channels (without deflections).

Fig. 4 shows a further flow plate for a three-chamber flow module.

Based on the flow field shown, the following flow module can be implemented:

chamber for fluid 1: flow field with linear parallel channels (without deflections), e.g. for the cooling fluid in a fuel cell;

chamber for fluid 2: flow field according to Fig. 4. It contains serpentine channels with six 90° deflections. A group of parallel channels extends across the total flow area in a serpentine manner. The fluid admission chamber and the fluid discharge chamber as well as the group of parallel channels extending from, and opening out into, them essentially take up half the width of the flow field.

Chamber for fluid 3: analogous to the flow field for fluid 2.

In a fuel cell, it is the reactant or the oxidant that may flow through the chambers for fluid 2 and fluid 3.

Examples of Application of Three-Chamber Flow Modules

Example 1

Conventional fuel cell module (Fig. 5)

Most of the fuel cell technologies have three separate fluid chambers, namely the reactant, oxidant and cooling chambers. Each fluid occupies separate chambers having specific flow fields. The three-chamber flow module according to the invention is therefore especially suited for such fuel cell applications. It may be used for fuel cells with a solid electrolyte (e.g. PEM), a fixed or a liquid electrolyte.

Fig. 5 is a schematic representation of the flow path of the three participating fluids in their associated flow chambers in a fuel cell stack. A fuel cell stack comprises a stack composed of a plurality of individual fuel cells. The upper sketch shows the flow path of the oxidant, e.g. air (first chamber); the middle sketch shows the path of the cooling fluid (second chamber); and the lower sketch shows the path of the reactant (third chamber), typically H_2 . The numerals 10, 11 denote the stack end plates. The lines 1, 2, parallel to the longitudinal sides of the stack, symbolize the flow of the relevant fluids in the admission and discharge channels. The lines 3 symbolize the flow of the relevant fluids through the chambers.

Example 2

Fuel cell with integrated humidifier module and with water or aqueous solution for water-vapour humidification of the oxidant and/or reactant (Fig. 6).

Fig. 6 shows the embodiment of a fuel cell stack in which a humidifier module integrated into the stack is additionally provided. Thus, the stack is divided up into the humidifier module and the fuel cell module. The humidifier module serves for water-vapour humidification of the oxidant (air).

The upper representation shows the flow path in the chambers for the first fluid (air). The air enters on the humidifier side and passes through the humidifier module. In this process, the entering air is humidified on the permeate side via water-permeable membranes by means of a cooling fluid (e.g. water or aqueous solution) provided in the chambers for the second fluid. Then the humidified gas stream is guided to the fuel cell module via a separator plate 20. After flowing through the fuel cell module, the used gas stream exits on the fuel cell side.

The middle representation shows the flow path in the chambers for the second fluid (cooling fluid). It passes through the fuel cell module, is guided via the separator plate 20 to the humidifier module, where it serves to humidify the air via the water-permeable membranes mentioned.

The lower representation shows the flow path in the chambers for the third fluid (reactant). Owing to the presence of the separator plate 20 between the fuel cell module and the humidifier module, it will only flow within the fuel cell module.

Example 3

Membrane Module (Fig. 7)

A three-chamber flow module according to the invention may also be used for membrane distillation processes. According to Fig. 7 (the lower representation shows a single cell), vapour (first fluid) diffuses through a membrane from the feed side (feed chamber) to the permeate side (permeate chamber). On the permeate side, the vapour (second fluid) is then condensed onto a cold wall which is kept at a certain temperature by a cooling fluid (third fluid) passing through it. This cooling chamber is disposed adjacent to the permeate chamber.

The flow path of the individual fluids for a stack of a plurality of single cells is shown in the three upper representations.

Four-Chamber Flow Module

The four-chamber flow module consists of chambers for accommodating four fluids. The chambers for the individual fluids may be arbitrarily arranged or lined up. For each chamber, at least one admission chamber and one discharge chamber is provided. From the admission and discharge chambers, the fluids are afforded direct access to the channels of the flow plate.

An essential difference between the three- and four-chamber flow modules with respect to the flow plates lies in the fact that there are now provided exactly two admission or discharge chambers along each side length of the rectangular flow field. Otherwise, the flow fields of the four chamber flow module correspond to those of the three-chamber flow modules.

Fig. 8 shows a flow plate for a four-chamber flow module. The flow channels for fluid 2 each have two 90° deflections. Thus, a very short channel length is achieved.

Fig. 9 shows a further flow plate for a four-chamber flow module. Here, the flow channels for fluid 2 are serpentine with exactly six 90° deflections.

Based on these flow fields, the following four-chamber flow modules can be implemented:

Module 1

Chamber for fluids 2 and 3: flow field according to Fig. 8 with two 90° deflections;

chamber for fluids 1 and 4: flow field with four 90° channel deflections, the channels being serpentine.

Module 2

Chamber for fluids 2 and 3: flow field according to Fig. 9 with six 90° deflections;

chamber for fluids 1 and 4: flow field with four 90° channel deflections, the channels being serpentine.

Examples of Application of Four-Chamber Flow Modules

Example 4

Fuel cell stack with flange-side air cooling and stack-integrated humidification (Fig. 10)

In this application, the four-chamber flow module consists of the fuel cell module (stack of individual fuel cells) as well as the cooling module and the humidifier module. It is the aim of the assembly to cause the oxidant (air)—which on being fed into the module was compressed and heated in the process—to be cooled, then to be humidified and subsequently to be supplied to the fuel cell module. The fuel cells may be a polymer electrolyte membrane fuel cell (PEM) type, for example.

The flow paths for oxidant (above), cooling fluid (center) and reactant (below) are shown in detail in the representations of Fig. 10.

The cooling fluid (center illustration), which first passed through the fuel cell module, is guided from the fuel cell cooling fluid outlet of the fuel cell module to the cooling module. From the cooling module outlet, the cooling fluid is deviated via the deviation plate 22 to the chambers for the fourth fluid and to the humidifier module. The fact that different chambers are involved is shown in Fig. 10, center illustration, in such a way that the horizontal lines provided in the humidifier module are offset in parallel relative to those in the fuel cell module and the cooling module. Thus, the chambers communicate with different admission and discharge channels. After the humidification of the air with the heated cooling fluid, the cooling fluid is discharged from the stack via an outlet plate 21.

The oxidant (upper representation) is guided successively from the cooling module via the humidifier module and, by means of suitable plate through-holes of the deviation plate, to the fuel cell module.

The reactant (lower representation), e.g. H_2 , is fed into the stack on the fuel cell side or the cooling module side and guided into the fuel cells of the fuel cell module.

Thus, in detail, there is the following exemplary occupancy for the individual chambers (in general any combinations of chambers and fluids are possible):

chambers for fluid 1: oxidant of the fuel cell which is cooled and humidified therein and, in the fuel cell module, is guided to the fuel cell membranes and discharged;

chambers for fluid 2: cooling fluid which, in the chambers, serves to cool the fuel cell and then to cool the oxidant present in the chambers for the first fluid;

chambers for fluid 3: cooling fluid (after deviation by means of the deviation plate 22) which, in the chambers, serves to humidify the cooled oxidant present in the chambers for the first fluid;

chambers for fluid 4: reactant of the fuel cell.

Example 5

Fuel cell stack with flange-side and stack-integrated air humidification and stack-integrated air cooling (Fig. 11)

In this embodiment, the cooling fluid flows through the fuel cell module and passes through the separator plate 20 into the cooling module and then into the humidifier module before leaving the stack (center illustration).

However, the air (upper illustration) first enters the cooling module and is then led to the humidifier module. Via a deviation plate 22 between the cooling module and the humidifier module, the air is passed to the chambers for the fourth fluid and, in the chambers, to the fuel cell module.

The path of the reactant (lower illustration) is analogous to that of Example 4.

Thus, in detail, there is the following exemplary occupancy for the individual chambers:

chambers for fluid 1: oxidant of the fuel cell which is cooled therein;

chambers for fluid 2: cooled oxidant (after deviation by means of the deviation plate 22) which is humidified therein and is then, in the fuel cell module, passed to the fuel cell membrane and discharged;

chambers for fluid 3: cooling fluid which, in the chambers, serves to cool the fuel cell and then to cool the oxidant present in the chambers for the first fluid and subsequently to humidify the oxidant present in the chambers for the second fluid;

chambers for fluid 4: reactant of the fuel cell.

Example 6

Fuel cell Stack with stack-integrated air humidification by means of product-water-loaded used fuel cell air stream (Fig. 12)

The air stream to be humidified (upper illustration) flows through a supply channel of the fuel cell module to the humidifier module. There, the entering air stream is humidified via water-permeable membranes on the feed side by means of the product-water-saturated air stream leaving the fuel cells. Then the humidified air stream passes through a deviation plate 22 which guides the air stream into a new fluid admission chamber for the fourth chamber of the four-chamber flow module. In the fuel cells in the fuel cell module, the air is then enriched to saturation point with product water and is guided to the humidifier module. After the humidification of the fresh air, the used air leaves the stack on the humidifier side.

Thus, in detail, there is the following exemplary occupancy for the individual chambers:

chambers for fluid 1: oxidant of the fuel cell which is humidified therein;

chambers for fluid 2: humidified oxidant (after deviation by means of the deviation plate 22) which, in the chambers, is passed to the fuel cell membranes in the fuel cell module and discharged and then serves to humidify the oxidant present in the chambers for the first fluid;

chambers for fluid 3: cooling fluid for cooling the fuel cell;

chambers for fluid 4: reactant of the fuel cell.

In an alternative embodiment (lower representation in Fig. 12), the air stream enters on the humidifier side and then passes through the fuel cell module.

With this arrangement, which among other things implements stack-integrated air (O_2) humidification, a liquid-fluid circuit for water-vapour humidification can be omitted. This serves to obtain a frost-resistant fuel cell as required for mobile use. As a cooling fluid for the fuel cells, non-freezing fluids are used.

In detail, for this embodiment, there is the following exemplary occupancy for the individual chambers:

chambers for fluid 1: oxidant of the fuel cell which is humidified therein and is then passed to the fuel cell membranes in the fuel cell module and discharged;

chambers for fluid 2: exiting fuel cell air (after deviation by means of the deviation plate) which, in the chambers, serves to humidify the oxidant of the fuel cell present in the first chamber;

chambers for fluid 3: cooling fluid for cooling the fuel cell;

chambers for fluid 4: reactant of the fuel cell.

Analogously, instead of the oxidant, the reactant entering the stack can be humidified.

Example 7

Fuel cell stack with stack-integrated air humidification by means of product-water-loaded used fuel cell air stream and stack-integrated air cooling (Fig. 13)

A further possible application for a four-chamber flow module is shown in Fig. 13. In addition to the embodiment shown in Fig. 12, the air is cooled in a cooling module immediately after entry into the module (upper illustration). Cooling is effected by the cooling fluid (center illustration) after it has left the fuel cell module.

Thus, in detail, in this embodiment, there is the following exemplary occupancy for the individual chambers:

chambers for fluid 1: oxidant of the fuel cell which is cooled therein and is then humidified;

chambers for fluid 2: cooled and humidified oxidant (after deviation by means of the deviation plate 22) which, in the chambers, is guided to the fuel cell membrane in the fuel cell module and discharged, and then serves to humidify the oxidant present in the chambers for the first fluid;

chambers for fluid 3: cooling fluid which, in the chambers, serves to cool the fuel cell and then to humidify the oxidant present in the chambers for the first fluid;

chambers for fluid 4: reactant of the fuel cell.

Correlations regarding the pressure drop in flat channels.

Pressure loss in flat channels as initial equation.

$$(1) \Delta p = \psi \cdot \frac{l}{d_h} \cdot \rho \cdot \frac{V^2}{2}$$

$$(2) d_h = 4 \frac{A}{U} = \frac{2a \cdot b}{a+b}$$

laminar flow according to DORNISCH

$$(3) \psi = \varphi_r \cdot \frac{64}{Re} \quad (4) Re = \frac{V \cdot d_h}{\nu}$$

$$(5) \varphi_r = 0,878 + 0,0566 \varepsilon + 0,758 \varepsilon^2 - 0,193 \varepsilon^3$$

$$(6) \varepsilon = \frac{a-b}{a+b} = \frac{1-b/a}{1+b/a}$$

turbulent flow $Re > 2320$ according to Blasius

$$(7) \psi = (100 Re)^{-\frac{1}{4}}$$

pressure losses in deflections

$$\text{generally: } (8) \Delta p = \xi_x \cdot \rho \cdot \frac{V^2}{2}$$

for $Re \cdot (d/D)^2 < 80$

$$(9) \xi_x = \varphi \left[0,0127 + \frac{0,158}{\left[Re (d/D)^2 \right]^{\frac{1}{4}}} \right] \cdot \theta_r \cdot (D/d)^{1/2}$$

for $Re (d/D)^2 > 80 - 10^5$

$$\theta_r = \theta \cdot \frac{2\pi}{360}$$

$$(10) \xi_x = \frac{\varphi \cdot 0,138}{\left[Re (d/D)^2 \right]^{0,17}} \cdot \theta_r \cdot (D/d)^{\frac{1}{2}}$$

$$\text{for } \theta = 45^\circ: \quad (11) \quad \varphi = 1 + 14,2 (d/D)^{1,47}$$

$$\text{for } \theta = 90^\circ: \quad (12) \quad \varphi = 0,95 + 17,2 (d/D)^{1,96} \quad \text{with } D/d < 19,7$$

$$(13) \quad \varphi = 1 \quad \text{with } D/d > 19,7$$

$$\text{for } \theta = 180^\circ: \quad (14) \quad \varphi = 1 + 116 (d/D)^{4,52}$$

A: channel area perpendicular to the direction of flow

U: amount of flow

l: length of channel

ρ : fluid density

V: average flow rate

d_h : hydraulic diameter

ψ : flow resistance coefficient

a: width of channel

b: depth of channel

ν : kinematic viscosity

Re: Reynolds number

ξ : drag coefficient

D: diameter of curvature

d: diameter of tube or hydraulic diameter

Fig. 1

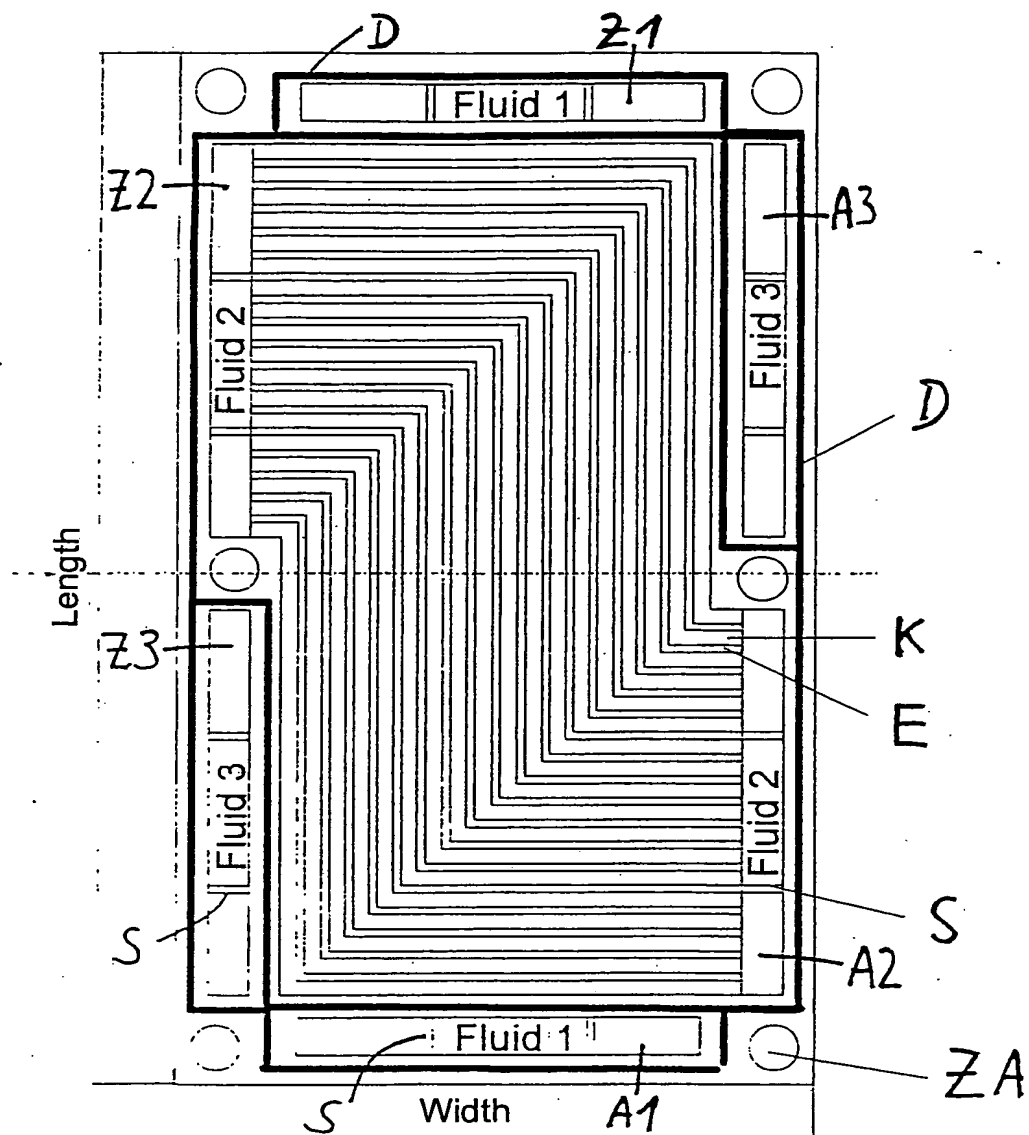


Fig. 2

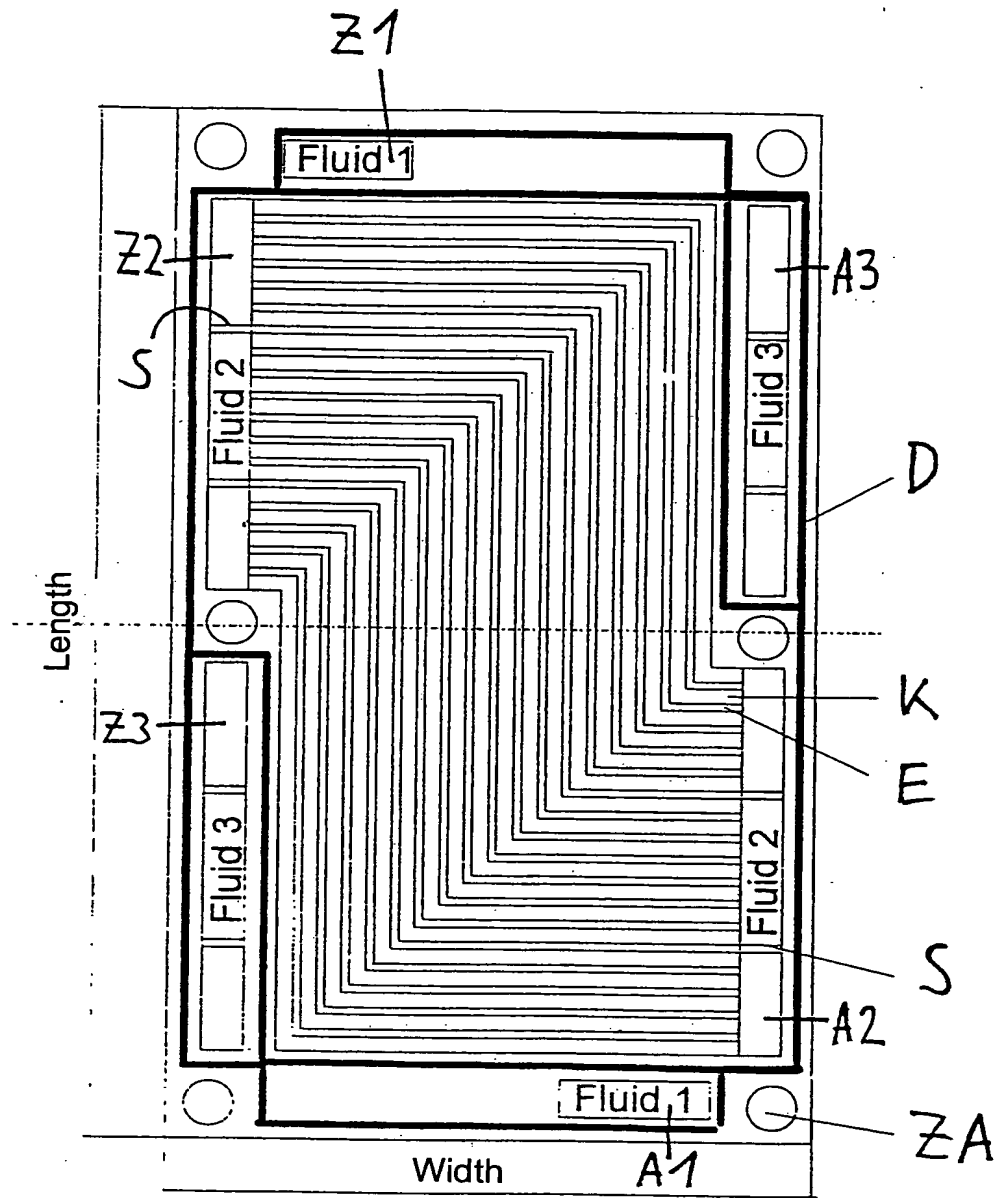


Fig. 3

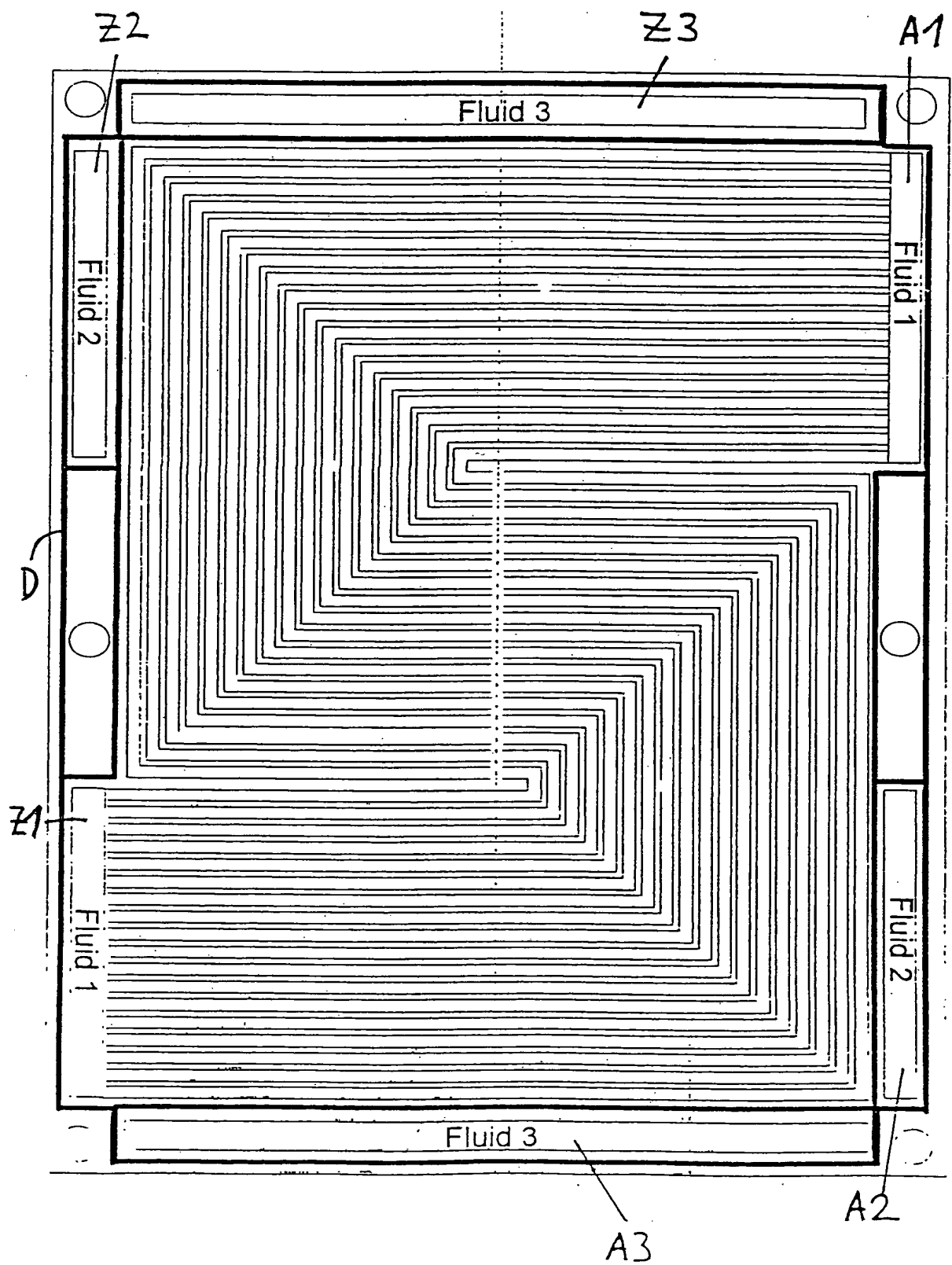
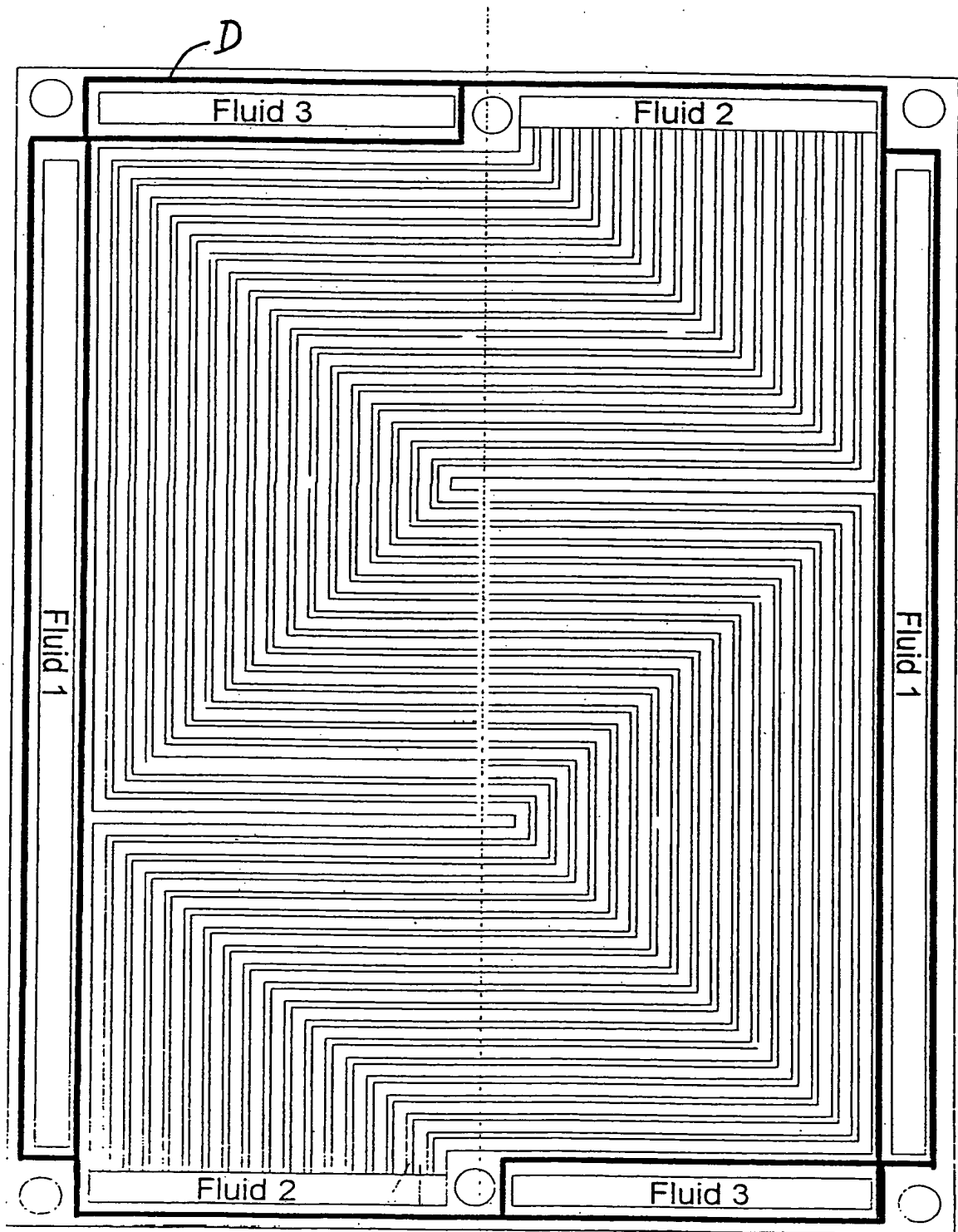


Fig. 4



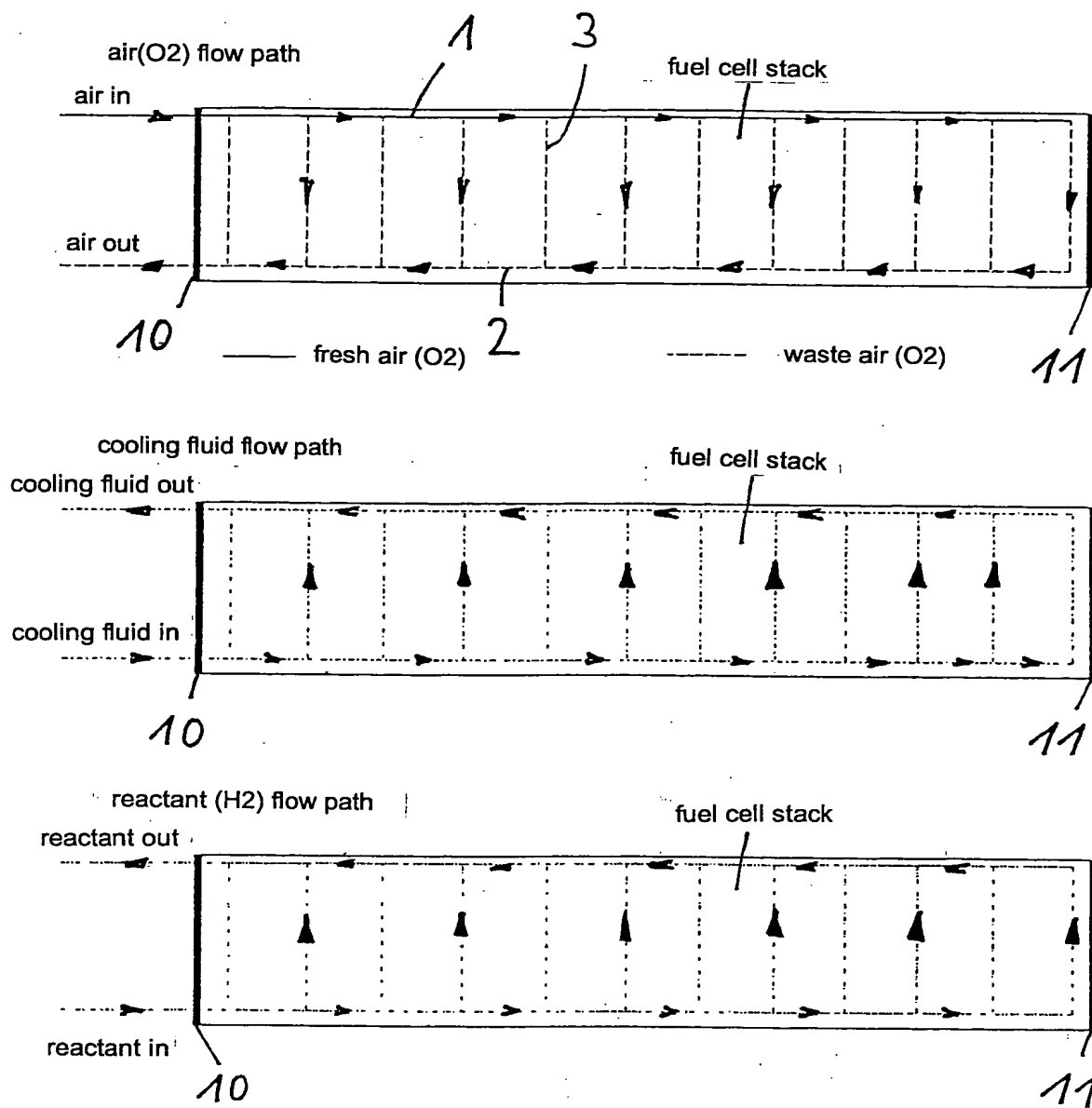


Fig. 5

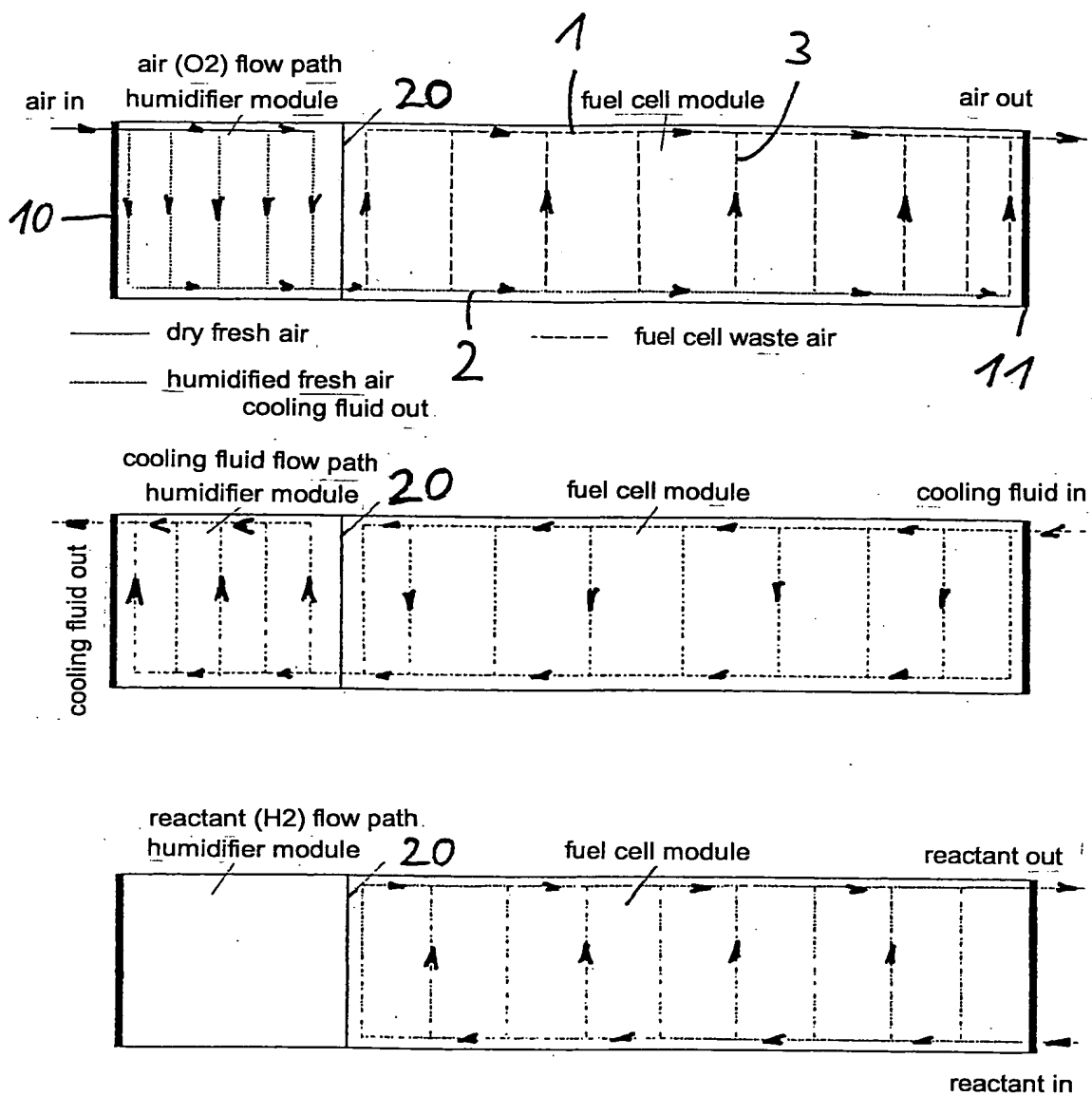


Fig. 6

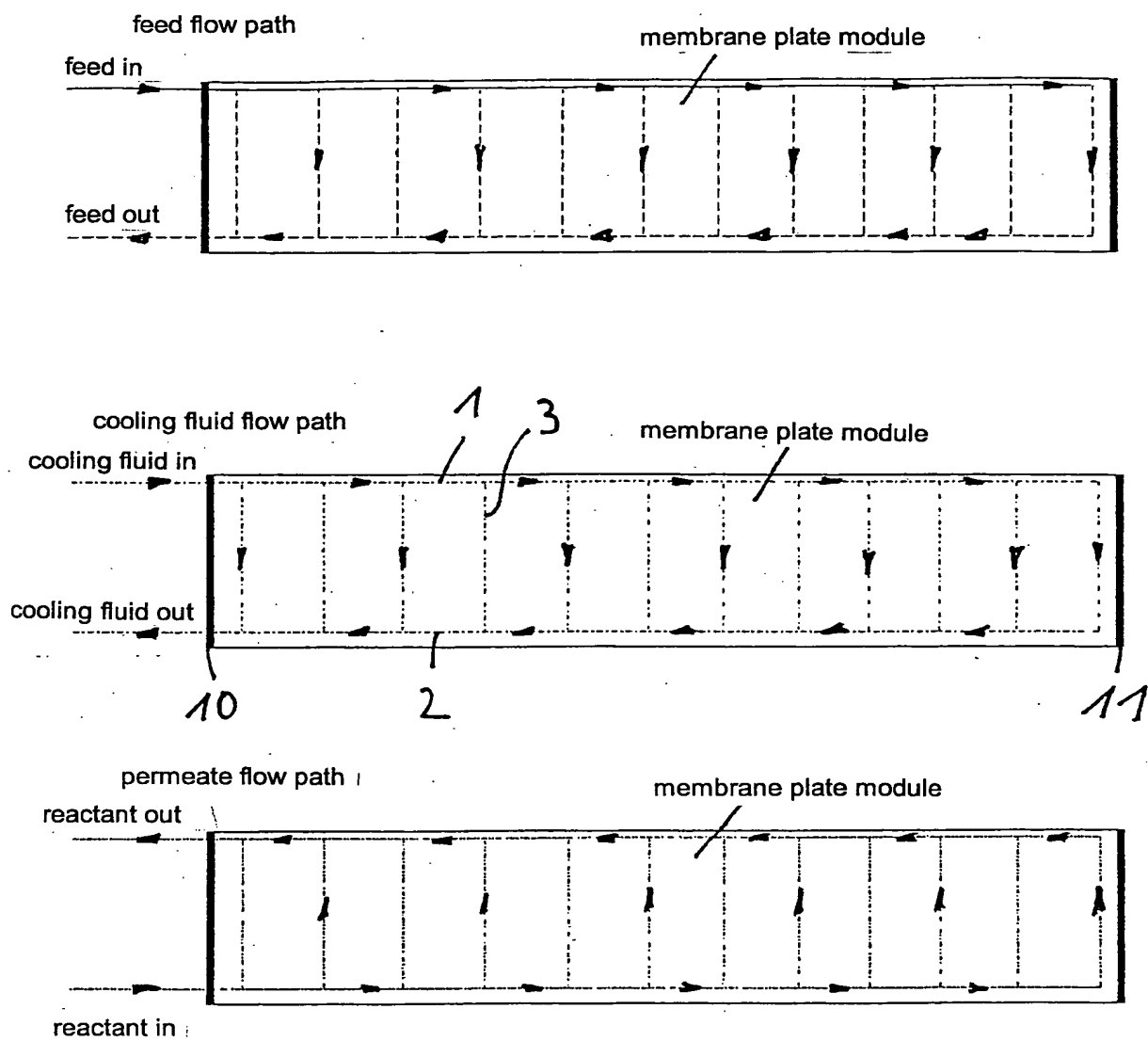


Fig. 7

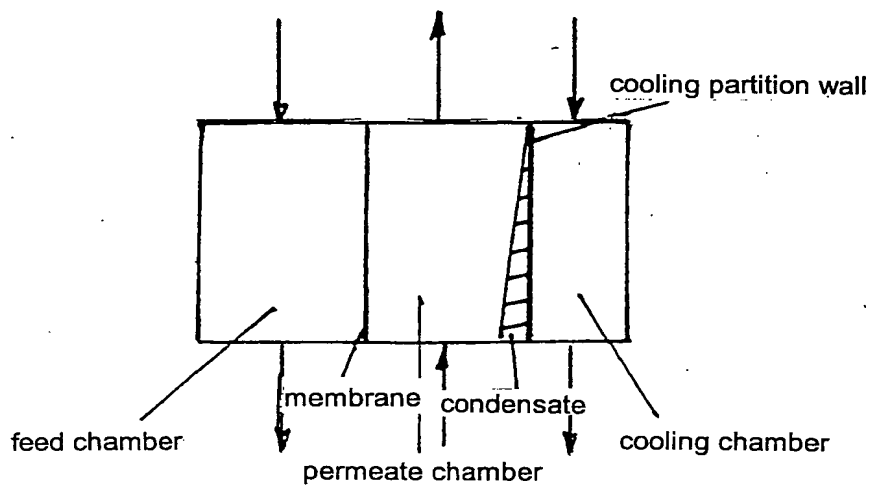


Fig. 8

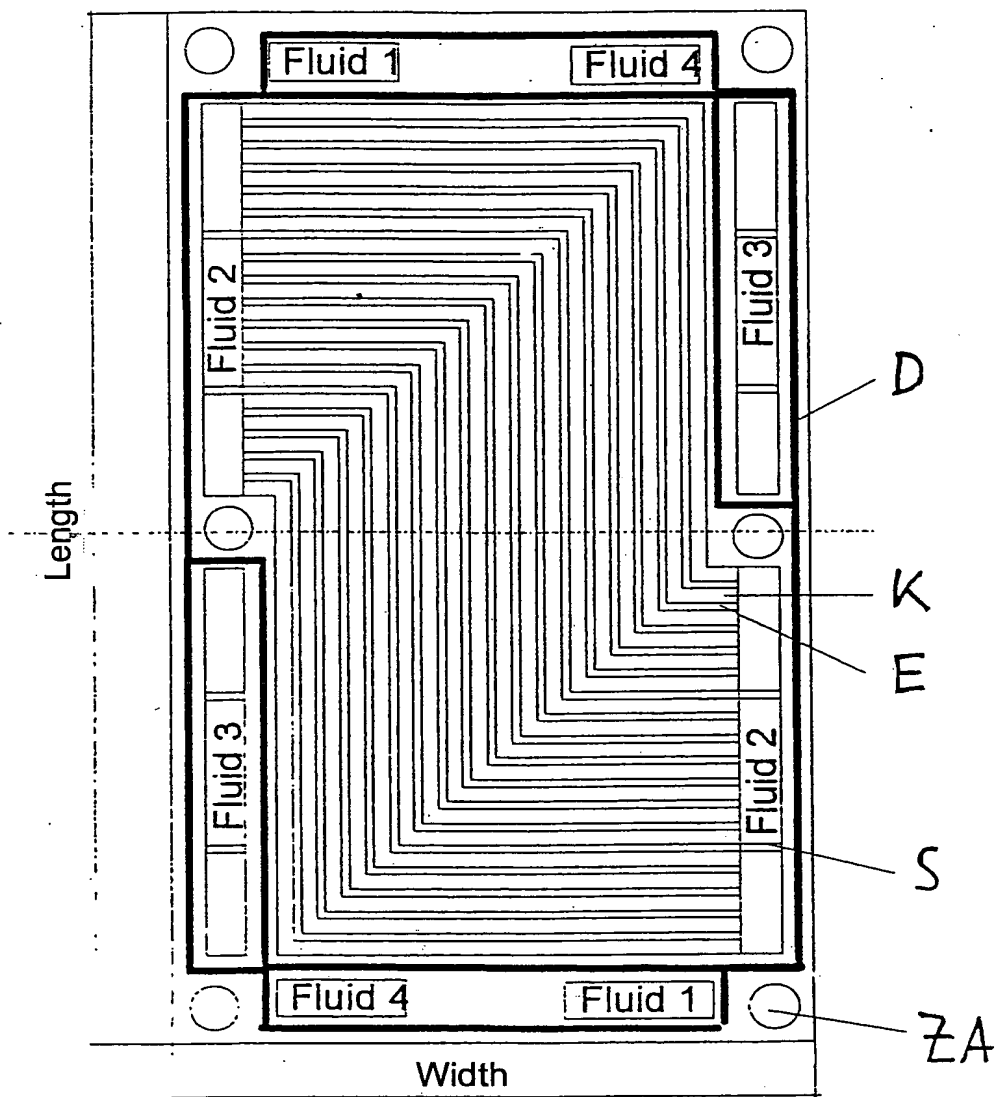
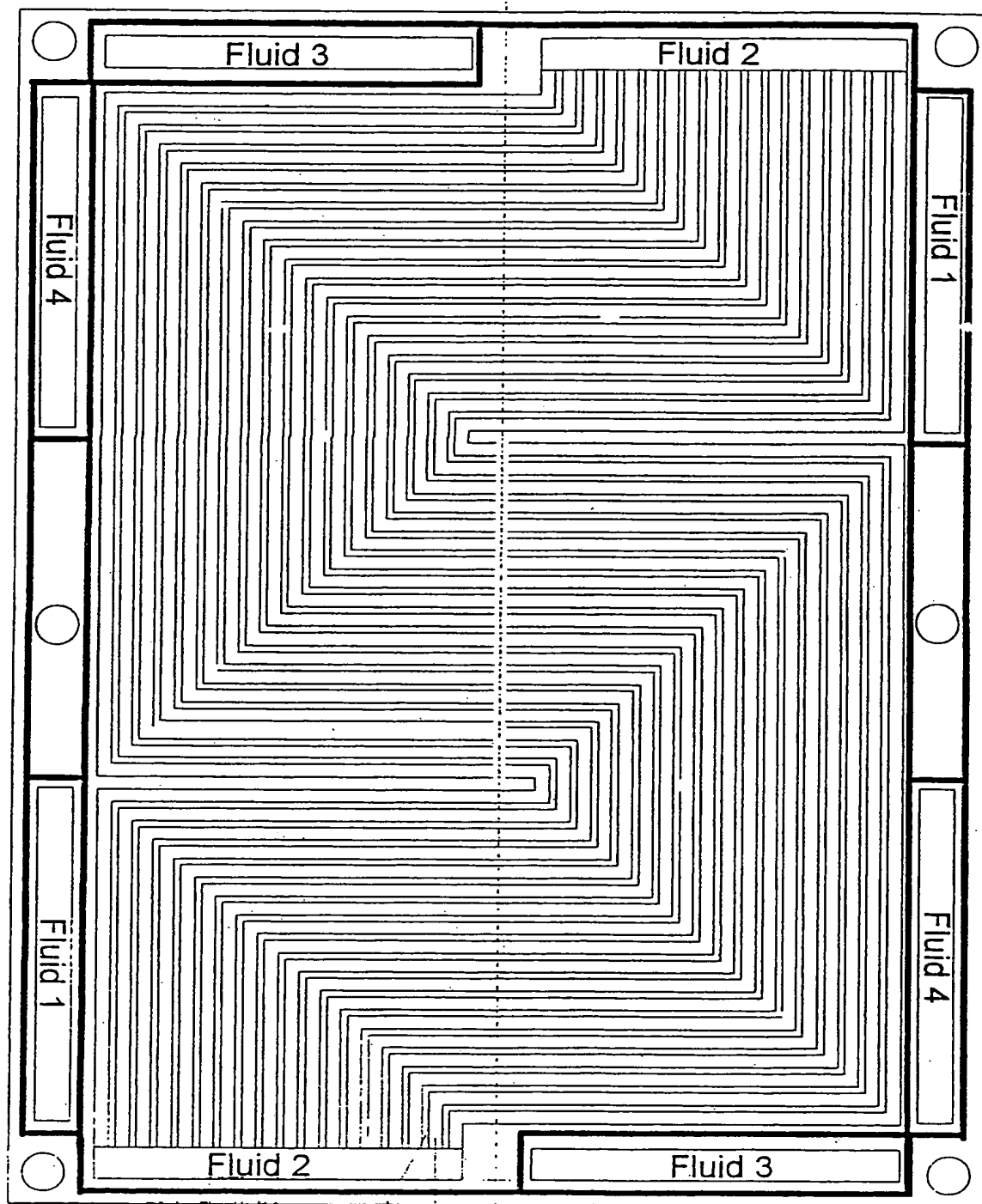


Fig. 9



E K D

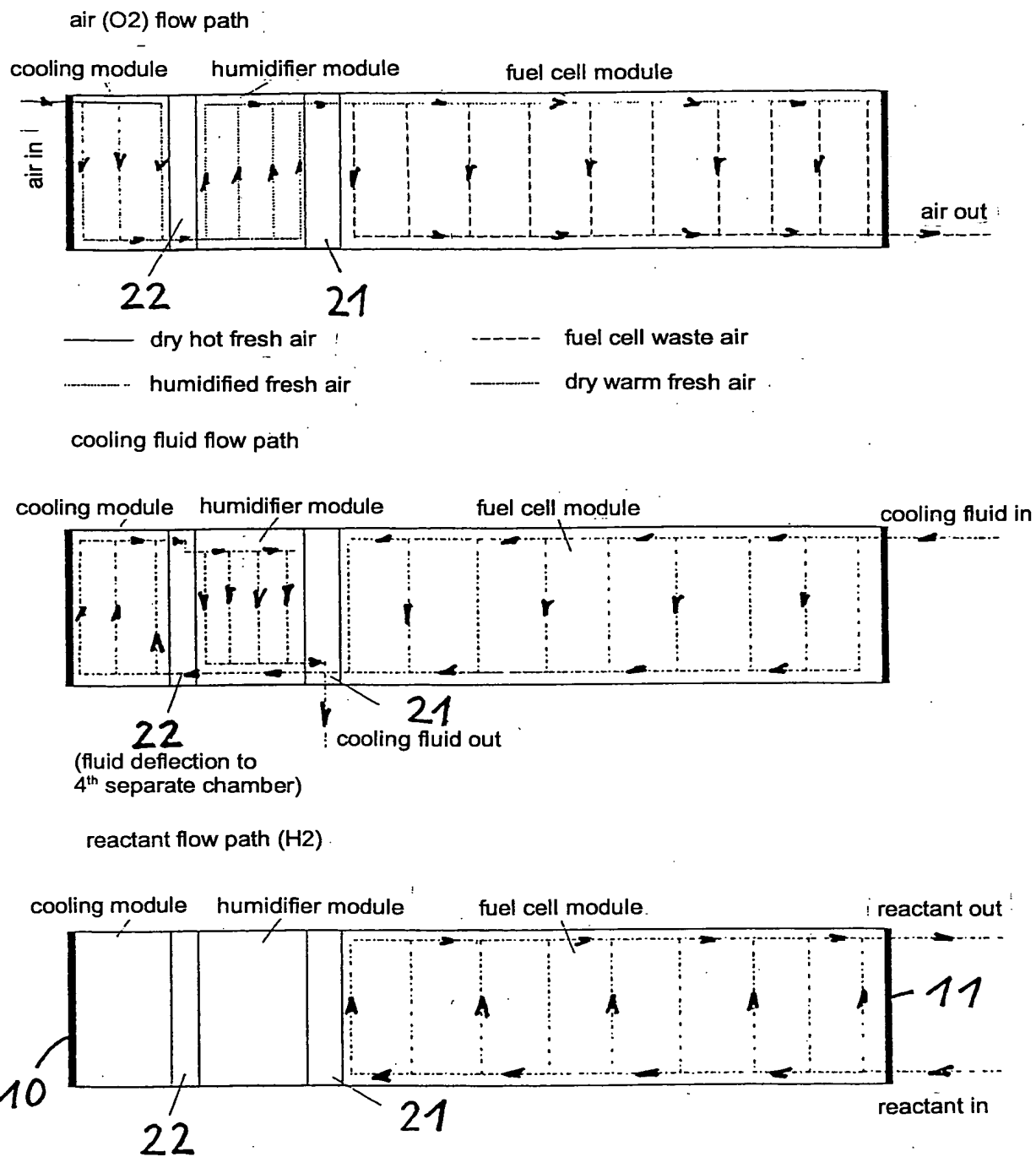


Fig. 10

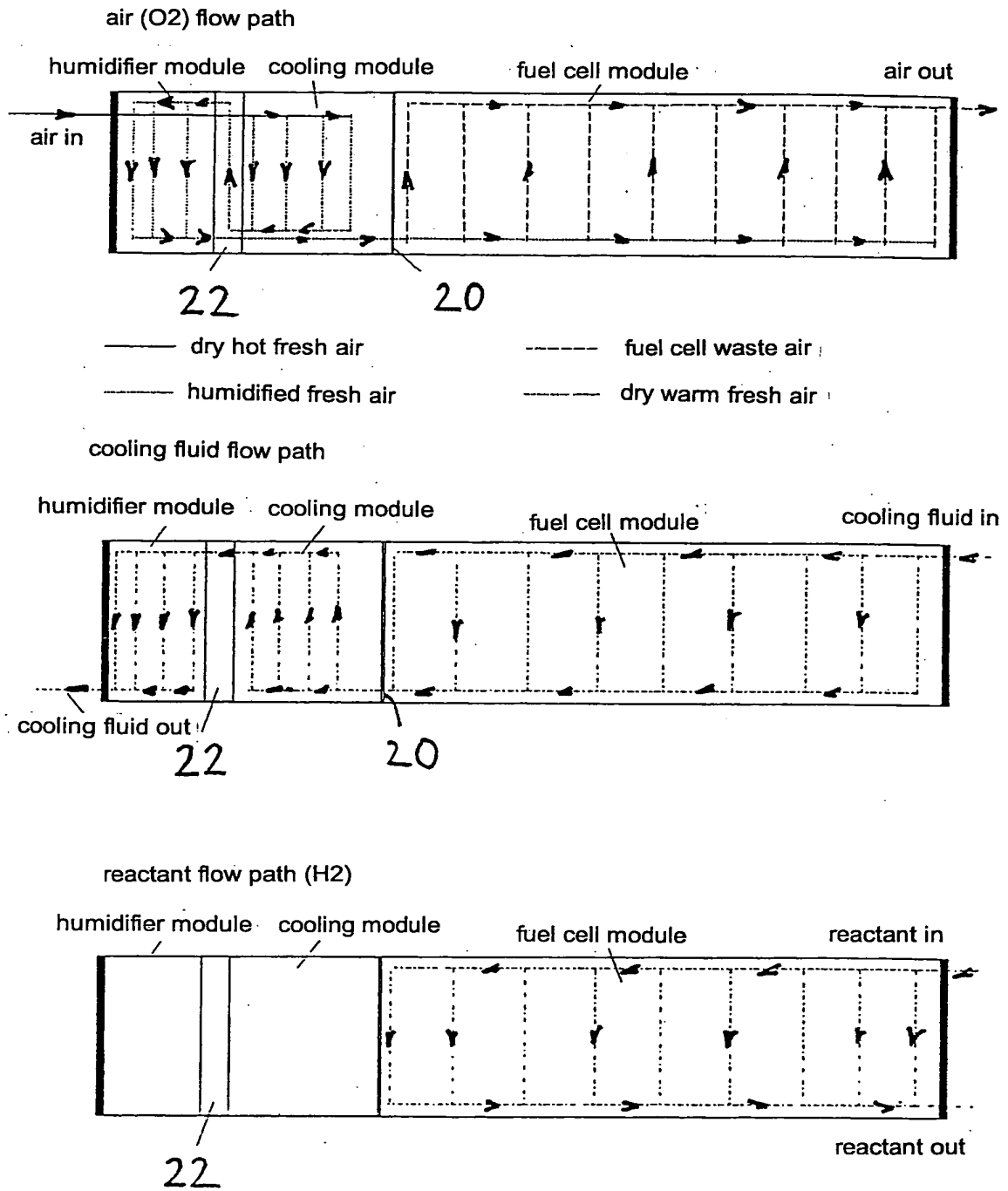


Fig. 11

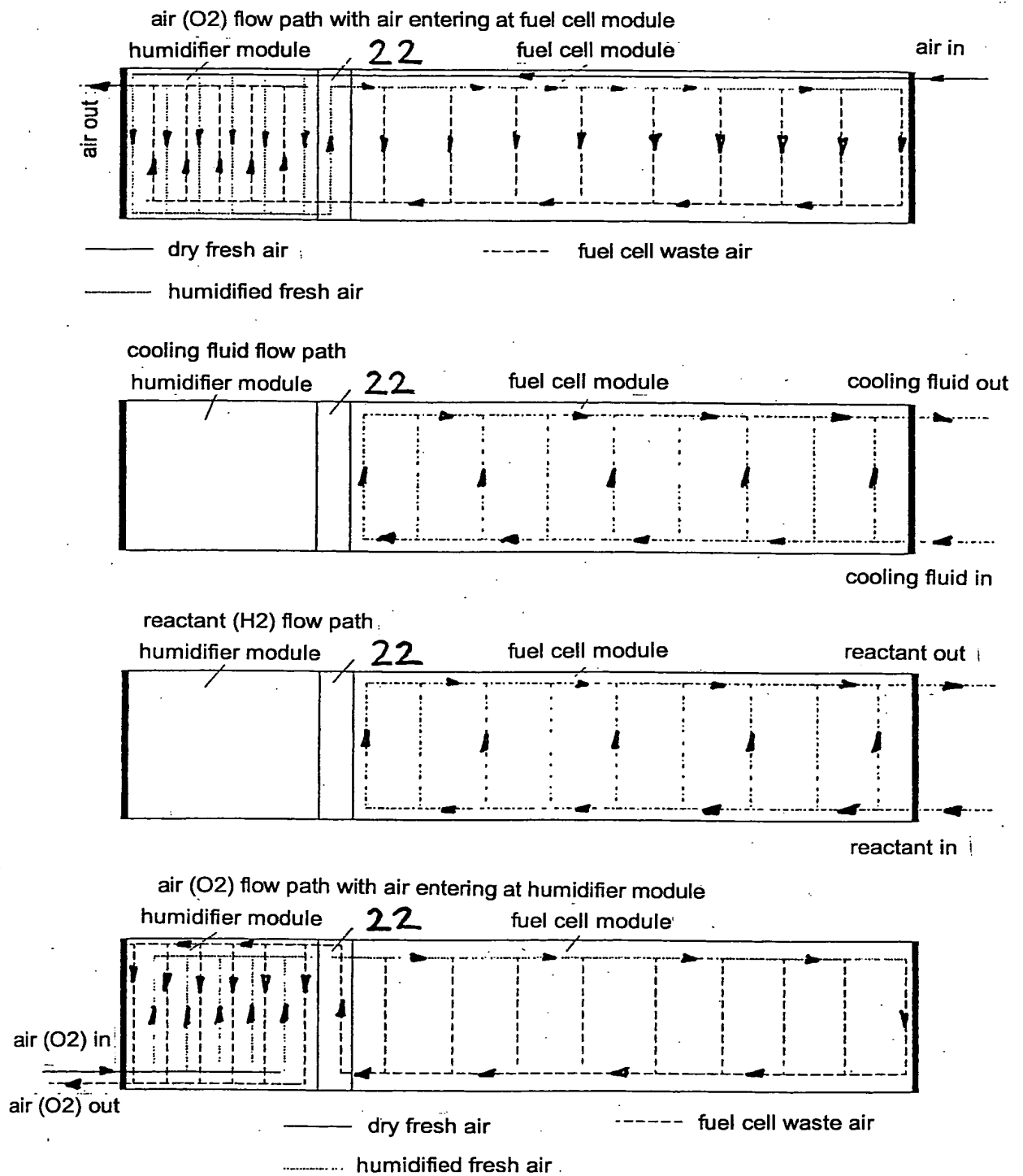


Fig. 12

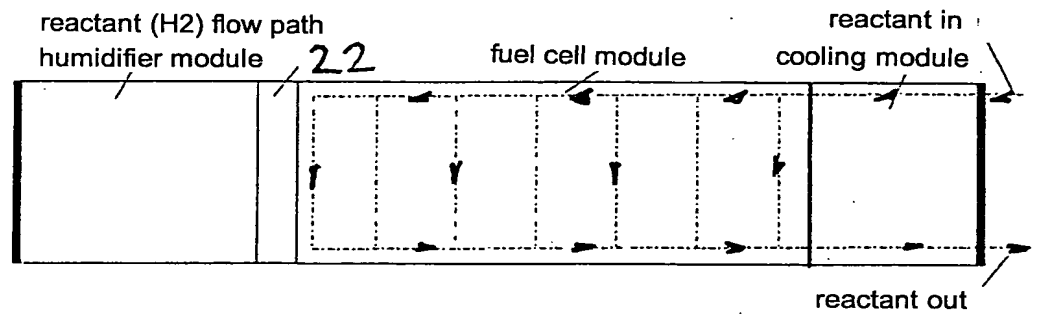
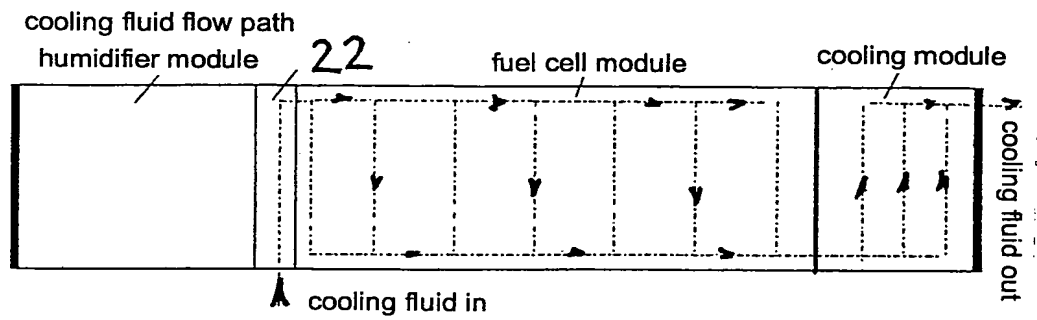
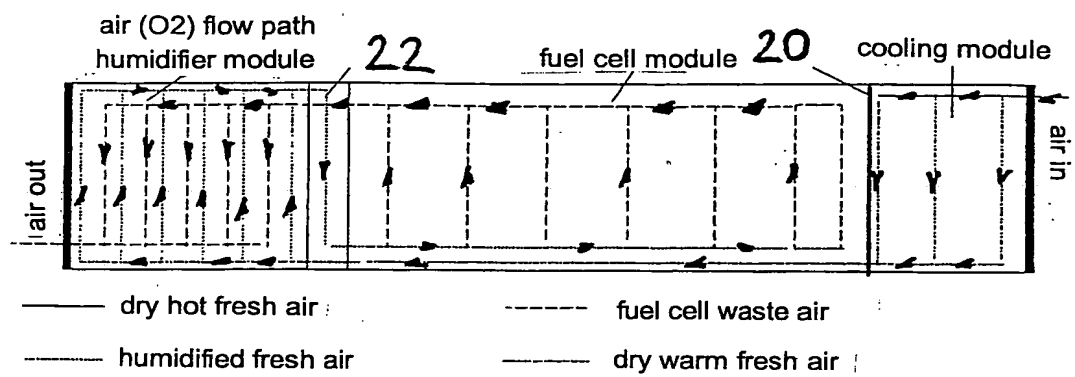


Fig. 13



19 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

12 Patentschrift
10 DE 197 43 067 C 2

51 Int. Cl.⁶:
H 01 M 8/02
H 01 M 8/04
F 15 D 1/00

21 Aktenzeichen: 197 43 067.8-45
22 Anmeldetag: 30. 9. 97
43 Offenlegungstag: 1. 4. 99
45 Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: 29. 7. 99

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

73 Patentinhaber:
Ballard Power Systems Inc., Burnaby, British
Columbia, CA
74 Vertreter:
HOEGER, STELLRECHT & PARTNER
PATENTANWÄLTE GBR, 70182 Stuttgart

72 Erfinder:
Schmid, Ottmar, 88677 Markdorf, DE

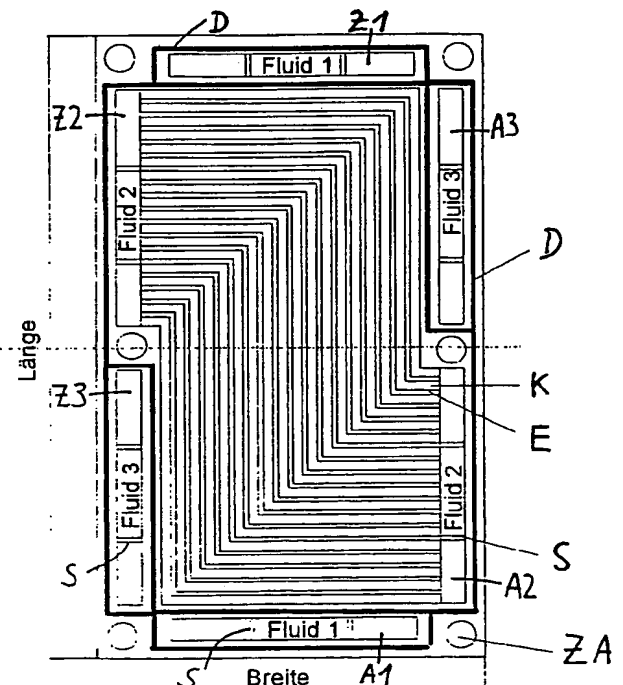
56 Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
gezogene Druckschriften:

DE 1 96 02 315 A1
DE 41 13 049 A1
US 55 47 776 A
US 55 27 363 A
EP 04 15 733 A2
WO 93 06 627 A1

54 Strömungsmodul mit Strömungskammern für drei oder vier Fluide

57 Strömungsmodul, insbesondere für Brennstoffzellen, welches einseitig oder beidseitig mit einer Mehrzahl von Strömungskanälen (K) strukturierte Strömungsplatten umfaßt, zwischen denen Strömungskammern für drei oder vier Fluide gebildet sind, wobei

- jede Kammer mindestens einen Fluidzufuhrraum (Z1–Z4) und einen Fluidabfuhrraum (A1–A4), die sich jeweils zumindest über ein Viertel der Kantenlänge des Strömungsfelds erstrecken, aufweist,
- die Strömungskanäle (K) innerhalb einer Kammer zueinander parallel verlaufen und jeweils einen der Fluidzufuhrräume (Z1–Z4) mit einem der Fluidabfuhrräume (A1–A4) verbinden, wobei die Strömungskanäle (K) über die gesamte Länge des Fluidzufuhrraums (Z1–Z4) von diesem ausgehen und über die gesamte Länge des Fluidabfuhrraums (A1–A4) in diesen münden, und
- die Strömungskammern für mindestens eines der Fluide mindestens zwei und maximal sechs Umlenkungen aufweisen und die Gesamtheit der Strömungskanäle (K) einer Kammer ein rechteckiges Strömungsfeld bildet.



DE 197 43 067 C 2

DE 197 43 067 C 2

Die Erfindung betrifft ein Strömungsmodul für Brennstoffzellen, welches einseitig oder beidseitig mit Strömungskanälen strukturierten Strömungsplatten aufweist, zwischen denen Strömungskammern für drei oder vier unterschiedliche Fluide sind.

Strömungsmodule, in denen drei Fluide unabhängig voneinander geführt werden können, werden in dieser Anmeldung abgekürzt als 3-Kammerströmungsmodule bezeichnet. Ebenso werden Strömungsmodule mit Strömungskammern für vier Fluide auch als 4-Kammerströmungsmodule bezeichnet. Die einzelnen Kammern können in beliebiger Ordnung zueinander vorhanden sein.

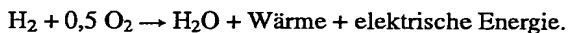
Mit Strömungsmodulen in der Form von Plattenmodulen werden in der Praxis eine Vielzahl von Prozessen durchgeführt. 3-Kammerströmungsmodule werden z. B. in Brennstoffzellensystemen, in Reaktoren oder Membranplattenmodulen eingesetzt. Für einen effizienten Ablauf der Prozesse mit Plattenmodulen werden allgemein nachfolgende Anforderungen an das Plattenmodul gestellt.

- Eine bestimmte Verweilzahl des Fluids in einer Kammer sollte durch konstruktive Anpassung der Strömungsverläufe in den Platten ermöglicht werden.
- Um eine hohe Packungsdichte (Verhältnis aktive Fläche zu Gesamtvolumen des Moduls) zu erzielen, wird eine hohe Flächenausnutzung gefordert.
- Bei Brennstoffzellenanwendungen wird z. B. ein definiertes Verhältnis von Fluidvolumenstrom, der in eine Strömungskammer geleitet wird, zur gesamten aktiven Strömungsfläche derselben Strömungsplattenseite gefordert, oder/und Realisierung eines definierten Druckabfalls pro Längeneinheit entlang der Strömungsführung, um damit einen bestimmten Strömungszustand in den Strömungsplatten zu erreichen.
- Gegenstromführung, um ein homogenes Reaktionsfeld über die Reaktionsflächen zu erreichen sowie um eine hohe mittlere logarithmische Konzentrationsdifferenz zu erreichen.

Grundsätzlich wird eine homogene Strömungsverteilung (enges Verweilzeitspektrum) und geringer Druckabfall in den Zu- und Abfuhräumen sowie über die Strömungsfläche der Strömungsplatten gefordert, um maximale Effizienz (Stoff- und Wärmetransportraten) zu erreichen. Erschwerend kommt meist hinzu, daß in einer vorgegebenen Strömungsplattengröße eine geeignete Gestaltung des Strömungsprofils unter Einhaltung der obengenannten Anforderungen erfolgen muß.

Mit bekannten 3-Kammerströmungsmodulen können vorstehende Anforderungen nicht hinreichend erfüllt werden. Die dabei auftretenden Probleme werden am Beispiel der Anwendung eines 3-Kammerströmungsmoduls für Brennstoffzellen im folgenden erläutert.

Brennstoffzellen werden vorwiegend in Plattenbauweise und mit einer bipolaren elektrischen Strömungsführung ausgeführt. Die Zellen umfassen jeweils mindestens eine Kathode, einen Elektrolyten bzw. Separator, eine Anode, eine kathodenseitige Oxidantenkammer und eine anodenseitige Reaktantenkammer. Die Kammern bestehen vorzugsweise aus Platten, die Vertiefungen, insbesondere in Form von Kanälen enthalten. Hierbei wird das Fluid durch die Kanäle über die gesamte geometrische Plattenfläche an die Elektrode geleitet, um eine möglichst homogene Strömungsverteilung zu erzielen. Die Brennstoffzellenreaktion erfolgt nach der Gleichung:



Die Reaktionswärme wird durch ein Kühlfluid abgeführt, das durch eine separate Kammer fließt. Die Kühlkammern werden zwischen jeder oder nach mehreren vorstehenden Zellen angeordnet. Ein Stapel mit mehreren Zellen wird durch deren Stapelung erhalten. Die Fluide werden dann in einem Stack über die jeweiligen Fluidzu- und Abfuhräume vorzugsweise parallel in die zugehörigen Fluidkammern geleitet.

Nach den vorstehenden Ausführungen kann somit eine Brennstoffzelle strömungstechnisch als Strömungsmodul mit drei separaten Fluidkammern, der Oxidanten-, Reaktanten- und Kühlkammer, betrachtet werden.

Ausgehend von der Fluidzuführung bzw. vom Fluideintritt einer Strömungsplatte, sinkt der Reaktanten- und Oxidantenpartialdruck mit zunehmender Kanallänge in Richtung Fluidaustritt der Strömungsplatte bedingt durch die Brennstoffzellenreaktion an den Elektroden und den damit verbundenen Verbrauch der Fluide.

Der dabei erzielte Umsatz an Edukten kann mittels nachfolgender Faradaygleichung beschrieben werden:

$$V_{\text{FPI}} = i \cdot \bar{A} \cdot 22,414 \text{ [nl/mol]} / (F \cdot z) \quad (1)$$

V_{FPI} : umgesetzter Volumenstrom [nl/s]

i : Stromdichte [A/m^2]

\bar{A} : geometrische Elektrodenfläche [m^2]

F : Faradaykonstante [96494 As/mol]

z : Wertigkeit.

Der Wirkungsgrad der Reaktion steigt deutlich mit zunehmendem Gaspartialdruck nach der Nernstgleichung an. Deshalb ist man bestrebt, am Ende des Kanals bzw. am Fluidaustritt der Platte noch einen möglichst hohen Gaspartialdruck zu erreichen. Die Einstellung des Gaspartialdruckes am Plattenaustritt erfolgt durch Bemessungen des Volumenstromes der durch die Kammer der Strömungsplatte geleitet wird. Dabei beschreibt der Überschuffaktor das Verhältnis des Partialvolumenstromes am Eintritt der Platte zum Partialvolumenstrom, der an der Elektrode verbraucht wird.

$$V_{\text{PI}} = V_{\text{FPI}} \cdot Y \quad (2)$$

V_{Pl}: Partialvolumenstrom durch eine Strömungsplatte

Y: Stöchiometriefaktor.

Eine inhomogene Reaktanten- oder Oxidantenkonzentrationsverteilung über die Strömungsfläche führt zur Absenkung des Wirkungsgrads oder sogar zur Zerstörung der Membran-Elektrodeneinheit. Deshalb steht die Realisierung einer homogenen Strömungsverteilung über die Strömungsfläche allgemein im Mittelpunkt der Strömungsplattenkonstruktion.

In vorteilhaften Ausführungen der Strömungsplatten werden mehrere parallele Kanäle gleicher Länge über die geometrische Fläche der Elektrode geführt. Dabei erfährt das durch die Kanäle strömende Fluid einen Druckverlust, der durch folgende grundlegende Beziehung berechnet werden kann:

$$\Delta p = \Psi \cdot l/d_h \cdot \rho \cdot V^2/2 \quad (3)$$

l: Kanallänge

ρ : Fluidichte

V: mittlere Strömungsgeschwindigkeit

$$d_h = 4 A/U = 2a \cdot b/a+b \quad (4)$$

A: Kanalfläche senkrecht zur Strömungsrichtung

U: Anströmumfang

d_h : hydraulischer Durchmesser

Ψ : Widerstandszahl

a: Kanalbreite

b: Kanaltiefe.

Umlenkungen der Kanäle tragen zur Verbesserung der Reaktion nicht bei und wirken sich negativ auf die Minimierung des Druckverlustes aus.

$$\text{allgemein: } \Delta p = \xi_k \cdot \rho \cdot V^2/2 \quad (5)$$

ξ_k : Widerstandsbeiwert

(Detaillierte Berechnungsgleichungen siehe Anlage)

Der vorstehend erläuterte Strömungsdruckverlust, der meist durch installierte Kompressoren aufgebracht werden muß, vermindert durch seinen Leistungsverbrauch erheblich den Gesamtwirkungsgrad des Brennstoffzellensystems. Der Leistungsverbrauch wird nach folgendem Zusammenhang abgeschätzt:

$$P_v = \eta \cdot d_p \cdot V_{Pl}$$

P_v : Leistungsverbrauch des Kompressors

η : Wirkungsgrad des Kompressors

d_p : Fluiddruckverlust über der Platte.

Bekannte Brennstoffzellensysteme, die im Bereich von 3 bar Betriebsdruck (Oxidant und Reaktant) arbeiten, verbrauchen zur Komprimierung des Oxidanten bis zu 16% der erzeugten elektrischen Leistung. Vorstehende Zusammenhänge, nämlich mit zunehmendem Betriebsdruck und Überschußfaktor steigt der Brennstoffzellenwirkungsgrad und gleichzeitig steigt der Leistungsverbrauch des Kompressors, weisen auf ein absolutes Maximum des Gesamtwirkungsgrades in Abhängigkeit des Überschußfaktors und Betriebsdruckes hin.

Ziel bei der Ausgestaltung solcher Brennstoffzellensysteme ist es, einen hohen Brennstoffzellenwirkungsgrad bei möglichst geringem Betriebsdruck und Fluiddruckverlust zu erzielen. In Brennstoffzellen wird auch dafür Sorge getragen, daß das Produktwasser aus den Zellen ausgetragen wird. Diese Funktion wird durch bekannte Verfahren erfüllt, die z. B. über die Wasserdampfanreicherung des Oxidanten oder/und Reaktanten das Produktwasser aus der Zelle austragen. In PEM-Zellen, die vorzugsweise mit sehr geringem Überschußfaktor < 2 betrieben werden, wird der Oxidant wasserdampfübersättigt. Dadurch entstehen Wassertropfen in den Gaskanälen der Strömungsplatten, die zur Aufrechterhaltung eines hohen Wirkungsgrades der Reaktion aus den Kanälen herausgeschoben werden müssen. Insbesondere für diese Aufgabe wirken sich Umlenkungen sehr ungünstig aus. Die Umlenkungen wirken sich in folgender Weise mehrfach negativ auf die Leistungsfähigkeit der Brennstoffzelle aus:

- Umlenkungen erzeugen Strömungsdruckverluste, die sich negativ auf den Reaktionsprozeß auswirken.
- Umlenkungen bilden ein erhebliches Hindernis auch für das Herausschieben der Wassertropfen aus den Kanälen.
- Eine Strömungsplatte mit einer Vielzahl von Umlenkungen kann die Schwerkraft für den Austrag der Wassertropfen aus den Kanälen nur eingeschränkt nutzen.

An die Strömungsplatten für Brennstoffzellen werden nun folgende Anforderungen gestellt:

- homogene Verteilung und Sammlung der Fluide zu bzw. von den Strömungsplatten (diese betrifft die Ausführung der Fluidzu- und Abfuhräume),
- homogene Verteilung und Sammlung der Fluide zu bzw. von den Kanälen der Strömungsplatten (diese betrifft insbesondere die Ausführung der Schnittstelle zwischen Fluidzu- bzw. Abfuhräumen und Strömungskanälen),
- Auslegung der Kanalgeometrie in einer Strömungsplatte, so daß ein möglichst geringer Strömungsdruckverlust

und hoher Brennstoffzellenwirkungsgrad erzielt wird,

– geringe Gesteigungskosten (Verwendung von kostengünstigen Materialien und einfachen Strömungsplattenausführungen).

5 Auf dem Gebiet der Brennstoffzellen sind im einzelnen folgende Vorrichtungen bekannt:

In EP 0 415 733 A2 wird in der dortigen Fig. 2 eine Einkanal-Serpentinenströmungsplatte gezeigt. In dieser Platte befinden sich aufgrund der Verwendung von nur einem Kanal eine Vielzahl von 90°-Umlenkungen. Diese Umlenkungen verursachen einen zusätzlichen hohen Druckabfall, der zur Verbesserung des Prozesses nicht beiträgt, und stellt auch eine besondere Blockade für den Austrag des flüssigen Produktwassers aus der Strömungsplatte dar. Das Mehrkanalströmungsprofil in der dortigen Fig. 4 weist ebenso noch sehr viele Umlenkungen auf. Ebenso weist diese Strömungsplatte auch eine sehr niedrige Flächenausnutzung (Verhältnis Strömungsfläche zur Gesamtfläche) auf. Eine hohe Flächenausnutzung ist für die Erzielung einer hohen Leistungsdichte notwendig. Um einen geringen Druckverlust zu erreichen, sind in diesem Fall auch hohe Kanaltiefen erforderlich. Dies erzeugt jedoch deutlich erhöhte Zelldicken und damit geringere Leistungsdichten.

15 Die DE 196 02 315 A1 beschreibt eine flüssigkeitsgekühlte Brennstoffzelle mit einem oder mehreren Verteilungskanälen, wobei eine Zellfläche mit einem Medium versorgt wird und die Verteilungskanäle in der Zellfläche so angebracht sind, daß die Versorgung der Zellfläche mit dem Medium von diesen Verteilungskanälen aus und längs der Kante der Zellfläche erfolgt.

Die DE 41 13 949 A1 offenbart eine Vorrichtung zur Führung von gasförmigen Medien in einem Stapel plattenförmiger keramischer Hochtemperatur-Brennstoffzellen.

Die WO 93/06627 A1 beschreibt eine Kanalführung in einer Trennplatte einer Brennstoffzelle, die mit einer Festelektrolytmembran ausgestattet ist. Hierbei wird die Idee der sogenannten "rib-cage pattern"-Struktur der Kanäle verfolgt.

US 5,527,363 und US 5,521,018 zeigen ebenfalls eine Einkanal-Strömungsplatte mit Serpentin, die vorstehend beschriebene Nachteile auch aufweisen. Insbesondere die Vorrichtungen entsprechend den dortigen Fig. 7a und 7b zeigen Strömungsplatten für Kühlmedien, die eine sehr geringe Wärmeübertragungsfläche realisieren.

25 Die in US 5,547,776 beschriebenen Strömungsplatten (Fig. 6a und 6b) besitzen ebenso eine Vielzahl von Umlenkungen und eine ungünstig niedrige Flächenausnutzung.

Der vorliegenden Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Strömungsmodul mit separaten Strömungskammern für drei oder vier Fluide anzugeben, das die vorstehend genannten Nachteile überwindet, und insbesondere folgende Anforderungen erfüllt:

- homogene Verteilung und Sammlung der Fluide zu bzw. von den Strömungsplatten,
- homogene Verteilung und Sammlung der Fluide zu bzw. von den Kanälen der Strömungsplatten,
- möglichst geringer Strömungsdruckverlust,
- geringe Gesteigungskosten.

Diese Aufgabe wird durch den Gegenstand des Patentanspruchs 1 gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung sowie deren Verwendung sind Gegenstand weiterer Ansprüche.

Das erfindungsgemäße Strömungsmodul umfaßt einseitig oder beidseitig mit Strömungskanälen strukturierte Strömungsplatten, zwischen denen Strömungskammern für drei oder vier Fluide gebildet sind, wobei

- pro Kammer mindestens ein Fluidzufuhrraum und ein Fluidabfuhrraum vorhanden ist,
- die Strömungskanäle innerhalb einer Kammer zueinander parallel sind, und jeweils einen der Fluidzufuhrräume mit einem der Fluidabfuhrräume verbinden, wobei die Strömungskanäle die gleiche Länge aufweisen, und
- die Gesamtheit der Strömungskanäle einer Kammer ein rechteckiges Strömungsfeld bilden, welches bezüglich seines Mittelpunkts Punktsymmetrie aufweist,
- jeder Fluidzufuhrraum und jeder Fluidabfuhrraum sich zumindest über ein Viertel der Kantenlänge des Strömungsfelds erstreckt,
- die Strömungskanäle über die gesamte Länge des Fluidzufuhrraums von diesem ausgehen, und
- die Strömungskanäle über die gesamte Länge des Fluidabfuhrraums in diesen münden,
- die Strömungskammern für mindestens eines der Fluide zwei, jedoch maximal sechs Umlenkungen aufweisen.

Die Erfindung wird anhand von Ausführungsbeispielen näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 eine Strömungsplatte für ein erfindungsgemäßes Strömungsmodul mit Strömungskammern für drei Fluide (3-Kammerströmungsmodul),

Fig. 2, 3, 4 weitere Strömungsplatte für ein erfindungsgemäßes Strömungsmodul mit Strömungskammern für drei Fluide (3-Kammerströmungsmodul),

Fig. 5 Fluidströmungsführung innerhalb eines erfindungsgemäßen Strömungsmoduls bei Verwendung als Brennstoffzellenstapel (3-Kammerströmungsmodul),

Fig. 6 Fluidströmungsführung innerhalb eines erfindungsgemäßen Strömungsmoduls bei Verwendung als Brennstoffzellenstapel mit stapelintegrierter Luftbefeuchtung (3-Kammerströmungsmodul),

Fig. 7 Fluidströmungsführung innerhalb eines erfindungsgemäßen Strömungsmoduls bei Verwendung als Membrandestillationsmodul (3-Kammerströmungsmodul),

Fig. 8 eine Strömungsplatte für ein erfindungsgemäßes Strömungsmodul mit Strömungskammern für vier Fluide (4-Kammerströmungsmodul),

Fig. 9 eine weitere Strömungsplatte für ein erfindungsgemäßes Strömungsmodul mit Strömungskammern für vier Fluide (4-Kammerströmungsmodul),

Fig. 10, 11 jeweils Fluidströmungsführungen innerhalb eines erfindungsgemäßen Strömungsmoduls bei Verwendung

als Brennstoffzellenstapel mit stapelintegrierter Befeuchtung und Kühlung der Prozeßluft (4-Kammerströmungsmodul),

Fig. 12 jeweils Fluidströmungsführungen innerhalb eines erfindungsgemäßen Strömungsmoduls bei Verwendung als Brennstoffzellenstapel mit stapelintegrierter Befeuchtung (4-Kammerströmungsmodul),

Fig. 13 Fluidströmungsführungen innerhalb eines erfindungsgemäßen Strömungsmoduls bei Verwendung als Brennstoffzellenstapel mit stapelintegrierter Befeuchtung und Kühlung der Prozeßluft (4-Kammerströmungsmodul).

3-Kammerströmungsmodul

Die Fig. 1 zeigt beispielhaft eine Strömungsplatte für ein Strömungsmodul mit Strömungskammern für drei Fluide (3-Kammerströmungsmodul).

Ein 3-Kammerströmungsmodul besteht in seiner einfachsten Ausführung aus mehreren übereinander oder nebeneinander angeordneten Strömungsplatten sowie gegebenenfalls zwei oder mehreren Endplatten. Die einzelnen Strömungskammern werden durch die Strömungskanäle K in den Strömungsplatten realisiert. Die Strömungsplatten können einseitig oder beidseitig mit Strömungskanälen versehen werden.

Die in Fig. 1 dargestellt Strömungsplatte weist Strömungskanäle K für ein Fluid (hier Fluid 2) auf, die insgesamt ein im wesentlichen rechtwinklig ausgebildetes Strömungsfeld bilden. Dargestellt sind außerdem der Zufuhrraum Z2 für Fluid 2 und der zugehörige Abfuhrraum A2 für Fluid 2, die mit den Strömungskanälen K in Verbindung stehen. In der Strömungsplatte sind darüberhinaus die Zu- und Abfuhrkanäle Z1, Z3, A1, A3 für die beiden anderen Fluide (Fluid 1 und Fluid 3) angeordnet. Werden die Strömungsplatten zur Integration des Strömungsmoduls fluchtend über- oder nebeneinander angeordnet, so bilden die Zu- und Abfuhrräume sämtlicher Strömungsplatten Zu- und Abfuhrkanäle für die einzelnen Fluide, wobei Dichtungen D zwischen den einzelnen Strömungsplatten für die Abdichtung der Fluide untereinander sorgen. Die Zu- und Abfuhrräume Z1, Z2, Z3, A1, A2, A3 sind in der gezeigten Ausführung in die Strömungsplatten integriert, d. h. sie bilden Durchbrechungen in der Strömungsplatte. In weiteren, hier nicht gezeigten Ausführung sind die Zu- und Abfuhrräume nicht Bestandteil der Strömungsplatten und werden an die Strömungsplatten als separates Bauteil angefügt.

Die Zu- und Abfuhrräume werden vorteilhaft rechteckig ausgeführt, um eine möglichst homogene Fluidzuführung zu den Strömungskanälen der Platten zu erreichen. Insbesondere in den größeren Zu- und Abfuhrräumen sind vorteilhaft Verstärkungsstreben S zur mechanischen Stabilisierung angeordnet, da der Fluidruck in den Zu- und Abfuhrkanälen versucht, die Längsleisten der Plattenelemente nach außen zu drücken. Die Verspannung der Strömungsplatten kann hier vorteilhaft über Zuganker ZA erfolgen, die in den vorgesehenen Bohrungen der Strömungsplatten angeordnet werden. Zur Abdichtung gegen den Außenraum sowie zwischen den Fluiden werden die Dichtungen D wie in der Fig. 1 gezeigt vorzugsweise als umlaufende Dichtungen eingesetzt.

Das in Fig. 1 gezeigte Strömungsfeld für Fluid 2 weist eine punktsymmetrische Struktur der Kanäle K bezüglich des Plattenmittelpunktes sowie folgende weitere Merkmale auf:

- a) jeder Strömungskanal K für Fluid 2 reicht vom Zufuhrraum Z2 bis zum Abfuhrraum A2,
- b) alle Kanäle K für Fluid 2 weisen eine identische Gesamtlänge vom Zufuhrraum Z2 bis zum Abfuhrraum A2 auf,
- c) jeder Kanal K für Fluid 2 weist zwei Richtungsumlenkungen um 90° auf,
- d) die Strömungskanäle K für Fluid 2 verlaufen vom Zufuhrraum Z2 zum Abfuhrraum A2 parallel zueinander,
- f) Fluidzufuhrraum Z2 und Fluidabfuhrraum A2 für Fluid 2 verlaufen im wesentlichen über die gesamte Breite des Strömungsfeldes
- g) Fluidzufuhrraum Z1, Z3 und Fluidabfuhrraum A1, A3 für Fluid 1 und für Fluid 3 verlaufen im wesentlichen über die Hälfte der Länge des Strömungsfeldes,
- h) die Strömungskanäle K für Fluid 2 gehen über die gesamte Länge des Fluidzufuhrraums Z2 von diesem aus,
- i) die Strömungskanäle K für Fluid 2 münden über die gesamte Länge des Fluidabfuhrraums A2 in diesen.

Eine Anpassung einer bestimmten geforderten mittleren Fluidverweilzeit kann durch eine Verlängerung der Kanallänge unter Beibehaltung der Plattenausmaße erreicht werden.

Der Druckabfall pro Kanallänge wird nach Gleichung 1 durch die Abmaße des Kanalquerschnitts im wesentlichen definiert. Dabei bestimmt die Länge des Zufuhr- und Abfuhrraumes die Länge der Kanäle bei konstanten Außenmaßen der Platten. Die Verkürzung des Zufuhr- und Abfuhrraumes und damit Verkleinerung des Strömungsquerschnitts führt zu einer leichten Erhöhung des Druckverlustes in diesen Räumen. Da jedoch gleichzeitig der Druckverlust über den ganzen Kanal durch deren Verlängerung entsprechend höher liegt, ist eine homogene Strömungsverteilung vom Zufuhrraum zu den Strömungskanälen dennoch gegeben.

Das Verhältnis Länge zu Breite des Strömungsplatte bzw. des Strömungsfelds kann den konkreten Erfordernissen angepaßt werden. So ergibt ein hoher Wert für das Verhältnis Länge zu Breite eine erhöhte Homogenität der Strömung (Propfenströmung).

Das Strömungsprofil erlaubt eine Gegenströmung oder eine Gleichstromführung der Fluide.

Grundsätzlich kann das Verhältnis der Strömungsquerschnitte von Zufuhrraum bzw. Abfuhrraum zu der Summe aller Querschnitte der Strömungskanäle einer Platte mittels Dimensionierung der Länge der Zufuhr- bzw. Abfuhrraumes angepaßt werden.

Die Strömungskanäle können hergestellt werden, indem in die Oberfläche der Strömungsplatten Vertiefungen eingebracht oder, wie im Fall der Fig. 1, Erhöhungen E aufgebracht werden. In weiteren vorteilhaften Ausführungen werden durch Unterbrechungen in den Erhöhungen Verbindungen zwischen den parallelen Kanälen geschaffen. Damit kann ein Konzentrationsausgleich realisiert werden.

Die folgende Tabelle nennt beispielhaft mögliche Materialien und Herstellungsweise für die Strömungsplatten:

Materialien	mögliche Herstellung der Kanäle
5 Metalle (Legierungen)	<ul style="list-style-type: none"> – Prägen von Folien – Ätzen der Kanäle – spanabhebende Bearbeitung der Platten – Stanzen der Durchbrechungen – Erodieren der Durchführungen
10 Metalle mit Oberflächenbehandlung	<ul style="list-style-type: none"> – Oberflächenbehandlung der Metalle mit leitfähigen Substanzen (Leitlack, Sprühgraphit etc.) – die Herstellung der Kanäle und Durchbrechung wird vorzugsweise analog oben durchgeführt
15 Nichtmetalle	
a) Graphitfolien oder Folien	<ul style="list-style-type: none"> – Prägen der Graphitfolien – spanabhebende Bearbeitung der Graphitplatten – Herstellung der Plattengeometrie über eine Form
20 b) leitfähige Kunststoffe oder Kunststoffkombination (Composites)	<ul style="list-style-type: none"> – Spritzgießen der Platten – Extrudieren der Platten – spanabhebende Bearbeitung – Stanzen der Platten
c) Elastomerwerkstoffe (elektr. leitfähig)	<ul style="list-style-type: none"> – Extrudieren der Platten/bzw. Folien – Gießen der Platten – Stanzen der Platten
25	

In einer beispielhaften Ausführung werden in einem erfindungsgemäßen Strömungsmodul für die Strömungskammern der drei Fluide folgende Strömungsfelder gewählt:

30 Kammer für Fluid 1: Strömungsfeld mit geradlinigen parallelen Kanälen (ohne Umlenkungen), z. B. für das Kühlfluid in einer Brennstoffzelle

Kammer für Fluid 2: Strömungsfeld wie in Fig. 1 dargestellt, mit geradlinigen parallelen Kanälen und zwei Umlenkungen, wobei die Gruppe der parallelen Kanäle über die gesamte Breite des Strömungsfelds verläuft; z. B. für den Reaktant in einer Brennstoffzelle

35 Kammer für Fluid 3: analog Strömungsfeld für Fluid 2, z. B. für den Oxidant in einer Brennstoffzelle.

Die Integration der Strömungsplatten zu einem Strömungsmodul kann zum Beispiel folgendermaßen erfolgen:

Das Strömungsmodul mit mehreren einseitig oder beidseitig mit Kanälen K versehenen Strömungsplatten wird vorzugsweise über mindestens zwei Endplatten verpreßt. Hierzu werden zur Verpressung vorteilhafte Schrauben eingesetzt, die außerhalb oder innerhalb der Strömungsplatten angeordnet sind. Dabei werden die Zuganker Z nach Fig. 1 vorzugsweise 40 in die Strömungsplatten integriert, oder direkt durch die Durchbrechungen der Zu- und Abfuhräume geführt. Die Preßkraft wird in einer weiteren Ausführung auch mittels Bänder aufgebracht, die das Strömungsmodul umschließen.

Fig. 2 zeigt eine weitere Strömungsplatte für ein 3-Kammerströmungsmodul. Der Unterschied zu der Strömungsplatte nach Fig. 1 ist die Tatsache, daß Fluidzufuhrraum und Fluidabfuhrum für Fluid 1 sowie die Gruppe der davon ausgehenden bzw. in diese mündenden parallelen Kanäle im wesentlichen ein Drittel der Breite des Strömungsfelds einnehmen. 45 Die Strömungskanäle von Fluid 1, die aus Fig. 2 nicht zu erkennen sind, jedoch analog der Kanäle für Fluid 1 in Fig. 3 aufgebaut sind, weisen einen serpentinenförmigen Verlauf mit vier 90°-Umlenkungen auf. Durch den serpentinenförmigen Verlauf entsteht eine Kanalverlängerung mit der Folge einer Erhöhung der Fluidverweilzeit, die in diesem Maße für entsprechende Anwendungen gefordert wird. Unter Verwendung dieser dargestellten Strömungsplatte kann vorteilhaft folgendes Strömungsmodul aufgebaut werden:

50 Kammer für Fluid 1: Strömungsfeld wie oben beschrieben und analog zu den in Fig. 3 dargestellten Strömungsfeld,
Kammer für Fluid 2: Strömungsfeld wie in Fig. 2 dargestellt,
Kammer für Fluid 3: Strömungsfeld analog zu Fig. 2.

55 Fig. 3 zeigt eine weitere Strömungsplatte für ein 3-Kammerströmungsmodul.

Die Strömungskanäle von Fluid 1 weisen einen serpentinenförmigen Verlauf mit vier 90°-Umlenkungen auf. Durch den serpentinenförmigen Verlauf entsteht eine Kanalverlängerung mit der Folge einer Erhöhung der Fluidverweilzeit. Mit dem dargestellten Strömungsfeld kann das folgende Strömungsmodul realisiert werden:

60 Kammer für Fluid 1: Strömungsfeld wie in Fig. 3 dargestellt,
Kammer für Fluid 2: Strömungsfeld analog zu Fig. 3,
Kammer für Fluid 3: Strömungsfeld mit geradlinigen parallelen Kanälen (ohne Umlenkungen).

65 Fig. 4 zeigt eine weitere Strömungsplatte für ein 3-Kammerströmungsmodul. Mit dem dargestellten Strömungsfeld kann das folgende Strömungsmodul realisiert werden:

Kammer für Fluid 1: Strömungsfeld mit geradlinigen parallelen Kanälen (ohne Umlenkungen), z. B. für das Kühlfluid in einer Brennstoffzelle;

Kammer für Fluid 2: Strömungsfeld gemäß Fig. 4. Es beinhaltet serpentinenförmige Kanalverläufe mit sechs 90°-Umlenkungen. Eine Gruppe paralleler Kanäle überstreicht serpentinenförmig den ganzen Strömungsbereich. Fluidzufuhr- und Fluidabfuhr- sowie die Gruppe der davon ausgehenden bzw. in diese mündenden parallelen Kanäle nehmen im wesentlichen die Hälfte der Breite des Strömungsfelds ein.

Kammer für Fluid 3: analog Strömungsfeld für Fluid 2.

Die Kammern für Fluid 2 und Fluid 3 können bei einer Brennstoffzelle vom Reaktant oder Oxidant durchströmt werden.

Anwendungsbeispiele für 3-Kammerströmungsmodul

Beispiel 1

Konventionelle Brennstoffzellenmodul (Fig. 5)

Die meisten Brennstoffzellentechnologien (Brennstoffzelle wird im folgenden auch mit BZ abgekürzt) weisen drei separate Fluidkammern auf, nämlich Reaktanten-, Oxidanten- und Kühlkammer. Jedes Fluid beansprucht separate Kammern mit einem bestimmten Strömungsfeld. Das erfindungsgemäße 3-Kammerströmungsmodul eignet sich deshalb insbesondere für derartige Brennstoffzellenanwendungen. Es kann dabei für Brennstoffzellen mit Festelektrolyt (z. B. PEM), fixiertem oder flüssigem Elektrolyten eingesetzt werden.

Die Fig. 5 zeigt in schematischer Darstellung die Strömungsführung für die drei beteiligten Fluide in deren zugeordneten Strömungskammern in einem Brennstoffzellenstapel. Ein Brennstoffzellenstapel umfaßt einen Stapel aus einer Mehrzahl einzelner Brennstoffzellen. Die obere Skizze zeigt die Stromführung des Oxidanten, z. B. Luft (1. Kammer), die mittlere Skizze die Führung des Kühlfluids (2. Kammer) und die untere Skizze die Führung des Reaktanten (3. Kammer), typischerweise H₂. Die Ziffern 10, 11 bezeichnen die Stapelendplatten. Die Linien 1, 2 parallel zu den Längsseiten des Stapels symbolisieren die Strömung der betreffenden Fluide innerhalb der Zu- und Abfuhrkanäle. Die Linien 3 symbolisieren die Strömung der betreffenden Fluide durch die Kammern.

Beispiel 2

Brennstoffzelle mit integriertem Befeuchtermodul und mit Wasser oder wäßrigen Lösung zur Wasserdampfbefeuchtung des Oxidanten und/oder Reaktanten (Fig. 6)

Fig. 6 zeigt die Ausführung eines Brennstoffzellenstacks, bei dem zusätzlich ein in den Stapel integriertes Befeuchtermodul vorhanden ist. Der Stapel ist somit unterteilt in Befeuchtermodul und BZ-Modul. Das Befeuchtermodul dient zur Wasserdampfbefeuchtung des Oxidanten (Luft).

Die obere Darstellung zeigt die Stromführung in den Kammern für das erste Fluid (Luft). Die Luft tritt befeuchterseitig ein und durchläuft das Befeuchtermodul. Dabei wird die eintretende Luft permeatseitig über wasserpermeable Membranen mittels eines Kühlfluids (z. B. Wasser oder wäßriger Lösung), das sich in den Kammern für das zweite Fluid befindet, befeuchtet. Nachfolgend wird der befeuchtete Gasstrom über eine Trennplatte 20 zum BZ-Modul geleitet. Nach der Durchströmung durch das BZ-Modul tritt der verbrauchte Gasstrom brennstoffzellenseitig aus.

Die mittlere Darstellung zeigt die Stromführung in den Kammern für das zweite Fluid (Kühlfluid). Es durchläuft das BZ-Modul, wird über die Trennplatte 20 zum Befeuchtermodul geleitet, wo es über die erwähnten wasserpermeablen Membranen zur Befeuchtung der Luft dient.

Die untere Darstellung zeigt die Stromführung in den Kammern für das dritte Fluid (Reaktant). Durch das Vorhandensein der Trennplatte 20 zwischen BZ-Modul und Befeuchtermodul strömt es nur innerhalb des BZ-Moduls.

Beispiel 3

Membranmodul (Fig. 7)

Ein erfindungsgemäßes 3-Kammerströmungsmodul kann auch Anwendung für Membrandestillationsprozesse finden. Dabei (Fig. 7, untere Darstellung zeigt eine einzelne Zelle) diffundiert Dampf (erstes Fluid) über eine Membrane von der Versorgungsseite (Versorgungskammer) zur Permeatseite (Permeatkammer). Permeatseitig wird dann der Dampf (2. Fluid) an einer kalten Wand kondensiert, die durch ein durchströmendes Kühlfluid (3. Fluid) temperiert wird. Diese Kühlkammer ist benachbart zur Permeatkammer angeordnet.

Die Strömungsführung der einzelnen Fluide bei einem Stapel aus mehreren Einzelzellen ist in den drei oberen Darstellungen gezeigt.

4-Kammerströmungsmodul

Das 4-Kammerströmungsmodul besteht aus Kammern für die Aufnahme von vier Fluiden. Dabei können die Kammern für die einzelnen Fluide beliebig angeordnet bzw. aneinandergereiht werden. Für jede Kammer ist mindestens ein Zufuhr- und ein Abfuhr-raum vorgesehen. Von den Zufuhr- und Abfuhr-räumen besteht ein direkter Zugang für die Fluide zu den Kanälen der Strömungsplatte.

Wesentlicher Unterschied zwischen 3- und 4-Kammerströmungsmodul hinsichtlich der Strömungsplatten ist die Tatsache, daß nun entlang jeder Kantenlänge des rechteckigen Strömungsfelds genau zwei Zufuhr- oder Abfuhr-räume vorhanden sind. Ansonsten entsprechen die Strömungsfelder der 4-Kammerströmungsmodul denjenigen der 3-Kammer-

strömungsmodule.

Fig. 8 zeigt eine Strömungsplatte für ein 4-Kammerströmungsmodul. Die Strömungskanäle für Fluid 2 weisen jeweils zwei 90°-Umlenkungen auf. Dadurch wird eine sehr kurze Kanallänge erzielt.

Fig. 9 zeigt eine weitere Strömungsplatte für ein 4-Kammerströmungsmodul. Die Strömungskanäle für Fluid 2 weisen hier einen serpentinenförmigen Verlauf mit genau sechs 90°-Umlenkungen auf.

Unter Verwendung dieser Strömungsfelder können folgende 4-Kammerströmungsmodule realisiert werden:

Modul 1

Kammer für Fluid 2 und 3: Strömungsfeld gemäß **Fig. 8** mit zwei 90°-Umlenkungen,
Kammer für Fluid 1 und 4: Strömungsfeld mit vier 90°-Kanalumlenkungen, wobei die Kanäle einen serpentinenförmigen Verlauf aufweisen.

Modul 2

Kammer für Fluid 2 und 3: Strömungsfeld gemäß **Fig. 9** mit sechs 90°-Umlenkungen,
Kammer für Fluid 1 und 4: Strömungsfeld mit vier 90°-Kanalumlenkungen, wobei die Kanäle einen serpentinenförmigen Verlauf aufweisen.

Anwendungsbeispiele für 4-Kammerströmungsmodule

Beispiel 4

Brennstoffzellen-Stack mit flanschseitiger Luftkühlung und stapelintegrierter Befeuchtung (**Fig. 10**)

Bei dieser Anwendung besteht das 4-Kammerströmungsmodul aus dem Brennstoffzellenmodul (Stapel einzelner Brennstoffzellen) sowie Kühlermodul und Befeuchtermodul. Aufgabe der Anordnung ist es, den Oxidanten (Luft), der bei der Einleitung in das Modul komprimiert und dabei erwärmt wurde, zuerst abzukühlen, dann zu befeuchten und anschließend dem Brennstoffzellenmodul zuzuführen. Die Brennstoffzellen können z. B. vom Typ Polymer-Elektrolyt-Membran-Brennstoffzelle (PEM) sein.

Die Strömungsführung für Oxidanten (oben), Kühlfluid (Mitte) und Reaktanten (unten) sind im einzelnen in den Darstellungen der **Fig. 10** abgebildet.

Das Kühlfluid (mittlere Darstellung), das zunächst das Brennstoffzellenmodul durchströmt hat, wird vom BZ-Kühlfluidaustritt des BZ-Moduls zum Kühlermodul geführt. Ausgehend vom Kühlermodulaustritt wird das Kühlfluid mittels Umlenkplatte 22 auf die Kammern für das vierte Fluid zum Befeuchtermodul umgeleitet. Daß es sich hier um verschiedene Kammern handelt, ist in der **Fig. 10**, mittlere Darstellung derart dargestellt, daß die horizontalen Linien im Befeuchter-Modul gegenüber denen im Brennstoffzellenmodul und Kühlermodul parallel versetzt sind. Die Kammern stehen also mit unterschiedlichen Zu- und Abfuhrkanälen in Verbindung. Nach der Befeuchtung der Luft mit dem erwärmten Kühlfluid wird das Kühlfluid über eine Austrittsplatte 21 aus dem Stack geführt.

Der Oxidant (obere Darstellung) wird nacheinander vom Kühlmodul über Befeuchtermodul mittels entsprechender Plattendurchbrechungen der Umlenkplatte zum BZ-Modul geleitet.

Der Reaktant (untere Darstellung), z. B. H_2 , wird brennstoffzellenseitig oder kühlmoduleseitig in den Stapel eingeführt und in die Brennstoffzellen des BZ-Moduls geführt.

Im einzelnen ergeben sich somit folgende beispielhaften Belegungen für die einzelnen Kammern (generell sind beliebige Kombinationen von Kammern und Fluiden möglich):

Kammern für Fluid 1: Oxidant der Brennstoffzelle, der darin gekühlt und befeuchtet sowie im BZ-Modul an die Brennstoffzellenmembranen hingeführt und abgeführt wird,

Kammern für Fluid 2: Kühlfluid, das darin zur Kühlung der Brennstoffzelle sowie anschließend zur Kühlung des sich in den Kammern für das erste Fluid befindlichen Oxidanten dient,

Kammern für Fluid 3: Kühlfluid (nach Umleitung mittels der Umlenkplatte 22), das darin zur Befeuchtung des sich in den Kammern für das erste Fluid befindlichen gekühlten Oxidanten dient,

Kammern für Fluid 4: Reaktant der Brennstoffzelle.

Beispiel 5

Brennstoffzellen-Stack mit flanschseitiger und stapelintegrierter Luftbefeuchtung sowie stackintegrierter Luftkühlung (**Fig. 11**)

In dieser Ausführung durchströmt das Kühlfluid das BZ-Modul, durch die Trennplatte 20 hindurch in das Kühlermodul und anschließend in das Befeuchtermodul, bevor es aus dem Stack austritt (mittlere Darstellung).

Die Luft (obere Darstellung) hingegen tritt zuerst in das Kühlermodul ein, und wird dann zum Befeuchtermodul geleitet. Über eine Umlenkplatte 22 zwischen Kühlermodul und Befeuchtermodul wird die Luft auf die Kammern für das vierte Fluid und darin zum BZ-Modul geführt.

Der Reaktant (untere Darstellung) wird analog Beispiel 4 geführt.

Im einzelnen ergeben sich somit beispielhaft folgende Belegungen für die einzelnen Kammern:

Kammern für Fluid 1: Oxidant der Brennstoffzelle, der darin gekühlt wird,

Kammern für Fluid 2: gekühlter Oxidant (nach Umleitung mittels der Umlenkplatte 22), der darin befeuchtet wird sowie anschließend im BZ-Modul an die Brennstoffzellenmembran hingeführt und abgeführt wird,
 Kammern für Fluid 3: Kühlfluid, das darin zur Kühlung der Brennstoffzelle sowie anschließend zur Kühlung des sich in den Kammern für das erste Fluid befindlichen Oxidanten dient, sowie anschließend zur Befeuchtung des sich in den Kammern für das zweite Fluid befindlichen Oxidanten dient,
 Kammern für Fluid 4: Reaktant der Brennstoffzelle.

Beispiel 6

Brennstoffzellen-Stack mit stapelintegrierter Luftbefeuchtung mittels produktwasserbeladenem verbrauchten Brennstoffzellen-Luftstrom (Fig. 12)

Der zu befeuchtende Luftstrom (obere Darstellung) strömt durch einen Zufuhrkanal des BZ-Moduls zum Befeuchtermodul. Dort wird der eintretende Luftstrom über wasserpermeable Membranen feedseitig mittels dem aus den Brennstoffzellen austretendem und produktwassergesättigtem Luftstrom befeuchtet. Anschließend durchläuft der befeuchtete Luftstrom eine Umlenkplatte 22, die den Luftstrom in einen neuen Fluidzufuhrraum für die 4. Kammer des 4-Kammerströmungsmoduls lenkt. In den Brennstoffzellen innerhalb des BZ-Moduls reichert sich die Luft anschließend mit Produktwasser bis zur Sättigung an und wird zum Befeuchtermodul geleitet. Nach der Befeuchtung der Frischluft tritt die verbrauchte Luft befeuchterseitig aus dem Stack.

Im einzelnen ergeben sich somit beispielhaft folgende Belegungen für die einzelnen Kammern:

Kammern für Fluid 1: Oxidant der Brennstoffzelle, der darin befeuchtet wird,
 Kammern für Fluid 2: befeuchteter Oxidant (nach Umleitung mittels der Umlenkplatte 22), der darin an die Brennstoffzellenmembranen im BZ-Modul hingeführt und abgeführt wird sowie anschließend zur Befeuchtung des sich in den Kammern für das erste Fluid befindlichen Oxidanten dient,
 Kammern für Fluid 3: Kühlfluid zur Kühlung der Brennstoffzelle,
 Kammern für Fluid 4: Reaktant der Brennstoffzelle.

In einer alternativen Ausführung (untere Darstellung der Fig. 12) tritt der Luftstrom befeuchterseitig ein und durchläuft anschließend das Brennstoffzellenmodul.

Mit dieser Anordnung, die u. a. eine stackintegrierte Luft (O_2)-Befeuchtung verwirklicht, kann auf ein Flüssigfluidkreislauf zur Wasserdampfbefeuchtung verzichtet werden. Dadurch wird eine für mobile Anwendung erforderliche frostsichere Brennstoffzelle erzielt. Als Kühlfluid für die Brennstoffzellen werden frostsichere Fluide eingesetzt.

Im einzelnen ergeben sich bei dieser Ausführung beispielhaft folgende Belegungen für die einzelnen Kammern:

Kammern für Fluid 1: Oxidant der Brennstoffzelle, der darin befeuchtet sowie anschließend an die Brennstoffzellenmembranen im BZ-Modul hingeführt und abgeführt wird,
 Kammern für Fluid 2: Brennstoffzellenabluft (nach Umleitung mittels der Umlenkplatte), die darin zur Befeuchtung des sich in der ersten Kammer befindlichen Oxidanten der Brennstoffzelle dient,
 Kammern für Fluid 3: Kühlfluid zur Kühlung der Brennstoffzelle,
 Kammern für Fluid 4: Reaktant der Brennstoffzelle.

In analoger Weise wird auch kann anstatt des Oxidanten der in den Stack eintretende Reaktant befeuchtet werden.

Beispiel 7

Brennstoffzellenstapel mit stapelintegrierter Luftbefeuchtung mittels produktwasserbeladenem verbrauchtem Brennstoffzellen-Luftstrom sowie stapelintegrierter Luftkühlung (Fig. 13)

Eine weitere Anwendungsmöglichkeit für ein 4-Kammerströmungsmodul zeigt Fig. 13. Zusätzlich zu der in Fig. 12 gezeigten Ausführung wird die Luft unmittelbar nach Eintritt in das Modul in einem Kühlermodul gekühlt (obere Darstellung). Die Kühlung erfolgt durch das Kühlfluid (mittlere Darstellung), nachdem dieses das Brennstoffzellenmodul verlassen hat.

Im einzelnen ergeben sich bei dieser Ausführung beispielhaft somit folgende Belegungen für die einzelnen Kammern:

Kammern für Fluid 1: Oxidant der Brennstoffzelle, der darin gekühlt sowie anschließend befeuchtet wird,
 Kammern für Fluid 2: abgekühlter und befeuchteter Oxidant (nach Umleitung mittels der Umlenkplatte 22), der darin an die Brennstoffzellenmembran im BZ-Modul hingeführt und abgeführt wird sowie anschließend zur Befeuchtung des sich in den Kammern für das erste Fluid befindlichen Oxidanten dient,
 Kammern für Fluid 3: Kühlfluid, das darin zur Kühlung der Brennstoffzelle sowie anschließend zur Kühlung des sich in den Kammern für das erste Fluid befindlichen Oxidanten dient,
 Kammern für Fluid 4: Reaktant der Brennstoffzelle.

Zusammenhänge betreffend den Druckverlust in ebenen Kanälen
 Druckverlust in ebenen Kanälen als Ausgangsgleichung

$$(1) \quad \Delta p = \psi \cdot \frac{l}{d_h} \cdot \rho \cdot \frac{v^2}{2}$$

$$(2) \quad d_h = 4 \frac{A}{U} = \frac{2a \cdot b}{a+b}$$

laminare Strömung nach DORNISCH

$$(3) \quad \psi = \varphi_r \cdot \frac{64}{Re} \quad (4) \quad Re = \frac{V \cdot d_h}{\nu}$$

$$(5) \quad \varphi_r = 0,878 + 0,0566 \varepsilon + 0,758 \varepsilon^2 - 0,193 \varepsilon^3$$

$$(6) \quad \varepsilon = \frac{a-b}{a+b} = \frac{1-b/a}{1+b/a}$$

turbulente Strömung $Re > 2320$ nach Blasius

$$(7) \quad \psi = (100 Re)^{-\frac{1}{4}}$$

Druckverluste in Umlenkungen

$$\text{allgemein: } (8) \quad \Delta p = \xi_x \cdot \rho \cdot \frac{v^2}{2}$$

$$\text{für } Re \cdot (d/D)^2 < 80$$

$$(9) \quad \xi_x = \varphi \left\{ 0,0127 + \frac{0,158}{\left[Re (d/D)^2 \right]^{\frac{1}{4}}} \right\} \cdot \theta_r \cdot (D/d)^{1/2}$$

$$\text{für } Re (d/D)^2 > 80 - 10^5$$

$$\theta_r = \theta \cdot \frac{2\pi}{360}$$

$$(10) \xi_x = \frac{\varphi \cdot 0,138}{\left[Re(d/D)^2 \right]^{0,17}} \cdot \theta_r (D/d)^{\frac{1}{2}}$$

$$\text{für } \theta = 45^\circ: (11) \quad \varphi = 1 + 14,2 (d/D)^{1,47}$$

$$\text{für } \theta = 90^\circ: (12) \quad \varphi = 0,95 + 17,2 (d/D)^{1,96} \quad \text{mit } D/d < 19,7$$

$$(13) \quad \varphi = 1 \quad \text{mit } D/d > 19,7$$

$$\text{für } \theta = 180^\circ: (14) \quad \varphi = 1 + 116 (d/D)^{4,52}$$

A: Kanalfäche senkrecht zur Strömungsrichtung

U: Anströmumfang

l: Kanallänge

p: Fluiddicke

V: mittlere Strömungsgeschwindigkeit

d_h : hydraulischer Durchmesser

Ψ : Widerstandszahl

a: Kanalbreite

b: Kanaltiefe

v: kinematische Viskosität

Re: Reynoldszahl

ξ : Widerstandsbeiwert

D: Krümmungsdurchmesser

d: Rohrdurchmesser bzw. hydraulischer Durchmesser

Patentansprüche

1. Strömungsmodul, insbesondere für Brennstoffzellen, welches einseitig oder beidseitig mit einer Mehrzahl von Strömungskanälen (K) strukturierte Strömungsplatten umfaßt, zwischen denen Strömungskammern für drei oder vier Fluide gebildet sind, wobei
 - jede Kammer mindestens einen Fluidzufuhrraum (Z1–Z4) und einen Fluidabfuhrraum (A1–A4), die sich jeweils zumindest über ein Viertel der Kantenlänge des Strömungsfelds erstrecken, aufweist,
 - die Strömungskanäle (K) innerhalb einer Kammer zueinander parallel verlaufen und jeweils einen der Fluidzufuhrräume (Z1–Z4) mit einem der Fluidabfuhrräume (A1–A4) verbinden, wobei die Strömungskanäle (K) über die gesamte Länge des Fluidzufuhrraums (Z1–Z4) von diesem ausgehen und über die gesamte Länge des Fluidabfuhrraums (A1–A4) in diesen münden, und
 - die Strömungskammern für mindestens eines der Fluide mindestens zwei und maximal sechs Umlenkungen aufweisen und die Gesamtheit der Strömungskanäle (K) einer Kammer ein rechteckiges Strömungsfeld bildet.
2. Strömungsmodul nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das Strömungsfeld bezüglich seines Mittelpunktes punktsymmetrisch ist.
3. Strömungsmodul nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Strömungskanäle (K) innerhalb einer Kammer, die jeweils einen der Fluidzufuhrräume (Z1–Z4) mit einem der Fluidabfuhrräume (A1–A4) verbinden, die gleiche Länge aufweisen.
4. Strömungsmodul nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Richtungsänderung an allen Umlenkungen jeweils 90° beträgt.
5. Strömungsmodul nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Strömungskanäle (K) unter einem Winkel von 90° von dem Fluidzufuhrraum (Z1–Z4) ausgehen und unter einem Winkel von 90° in den Fluidabfuhrraum (A1–A4) münden.
6. Strömungsmodul nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß in den Fluidzufuhräumen (Z1–Z4) und den Fluidabfuhrräumen (A1–A4) Streben (S) zur mechanischen Stabilisierung vorhanden sind.
7. Verwendung des Strömungsmoduls mit Strömungskammern für drei Fluide nach einem der Ansprüche 1 bis 6 in einem Brennstoffzellenstapel mit darin integrierter Befeuchtung des Oxidanten und/oder Reaktanten.
8. Verwendung des Strömungsmoduls mit Strömungskammern für drei Fluide nach einem der Ansprüche 1 bis 6 in einer Membrandestillationsvorrichtung.
9. Verwendung des Strömungsmoduls mit Strömungskammern für vier Fluide nach einem der Ansprüche 1 bis 6 in einer Brennstoffzelle mit darin integrierter Kühlung und/oder Befeuchtung des Oxidanten.
10. Verwendung des Strömungsmoduls nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Kammern für das erste Fluid von dem Oxidanten der Brennstoffzelle durchströmt werden, der darin gekühlt und befeuchtet sowie an die Brennstoffzellenmembran hingeführt und abgeführt wird, die Kammern für das zweite Fluid von einem Kühlfluid durchströmt werden, das darin zur Kühlung der Brennstoff-

zelle sowie anschließend zur Kühlung des sich in den Kammern für das erste Fluid befindlichen Oxidanten dient, die Kammern für das dritte Fluid von dem Kühlfluid durchströmt werden, das darin zur Befeuchtung des sich in den Kammern für das erste Fluid befindlichen gekühlten Oxidanten dient, und die Kammern für das vierte Fluid von dem Reaktanten der Brennstoffzelle durchströmt werden.

11. Verwendung des Strömungsmoduls nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß

die Kammern für das erste Fluid von dem Oxidanten der Brennstoffzelle durchströmt werden, der darin gekühlt wird,

die Kammern für das zweite Fluid von dem gekühlten Oxidanten durchströmt werden, der darin befeuchtet wird sowie anschließend an die Brennstoffzellenmembran hingeführt und abgeführt wird,

die Kammern für das dritte Fluid von einem Kühlfluid durchströmt werden, das darin zur Kühlung der Brennstoffzelle sowie anschließend zur Kühlung des sich in den Kammern für das erste Fluid befindlichen Oxidanten dient, sowie anschließend zur Befeuchtung des sich in den Kammern für das zweite Fluid befindlichen Oxidanten dient, und

die Kammern für das vierte Fluid von dem Reaktanten der Brennstoffzelle durchströmt werden.

12. Verwendung des Strömungsmoduls nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß

die Kammern für das erste Fluid von dem Oxidanten der Brennstoffzelle durchströmt werden, der darin befeuchtet wird,

die Kammern für das zweite Fluid von dem befeuchteten Oxidanten durchströmt werden, der darin an die Brennstoffzellenmembran hingeführt und abgeführt wird sowie anschließend zur Befeuchtung des sich in den Kammern für das erste Fluid befindlichen Oxidanten dient,

die Kammern für das dritte Fluid von einem Kühlfluid zur Kühlung der Brennstoffzelle durchströmt werden, und

die Kammern für das vierte Fluid von dem Reaktanten der Brennstoffzelle durchströmt werden.

13. Verwendung des Strömungsmoduls nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß

die Kammern für das erste Fluid von dem Oxidanten der Brennstoffzelle durchströmt werden, der darin befeuchtet wird sowie anschließend an die Brennstoffzellenmembran hingeführt und abgeführt wird,

die Kammern für das zweite Fluid von der Brennstoffzellenabluft durchströmt werden, die darin zur Befeuchtung des sich in den Kammern für das erste Fluid befindlichen Oxidanten der Brennstoffzelle dient,

die Kammern für das dritte Fluid von einem Kühlfluid zur Kühlung der Brennstoffzelle durchströmt werden, und

die Kammern für das vierte Fluid von dem Reaktanten der Brennstoffzelle durchströmt werden.

14. Verwendung des Strömungsmoduls nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß

die Kammern für das erste Fluid von dem Oxidanten der Brennstoffzelle durchströmt werden, der darin gekühlt wird sowie anschließend befeuchtet wird,

die Kammern für das zweite Fluid von dem abgekühlten und befeuchteten Oxidanten durchströmt werden, der darin an die Brennstoffzellenmembran hingeführt und abgeführt wird sowie anschließend zur Befeuchtung des sich in den

Kammern für das erste Fluid befindlichen Oxidanten dient,

die Kammern für das dritte Fluid von einem Kühlfluid durchströmt werden, das darin zur Kühlung der Brennstoffzelle sowie anschließend zur Kühlung des sich in den Kammern für das erste Fluid befindlichen Oxidanten dient, und

die Kammern für das vierte Fluid von dem Reaktanten der Brennstoffzelle durchströmt werden.

Hierzu 13 Seite(n) Zeichnungen

- Leerseite -

Fig. 1

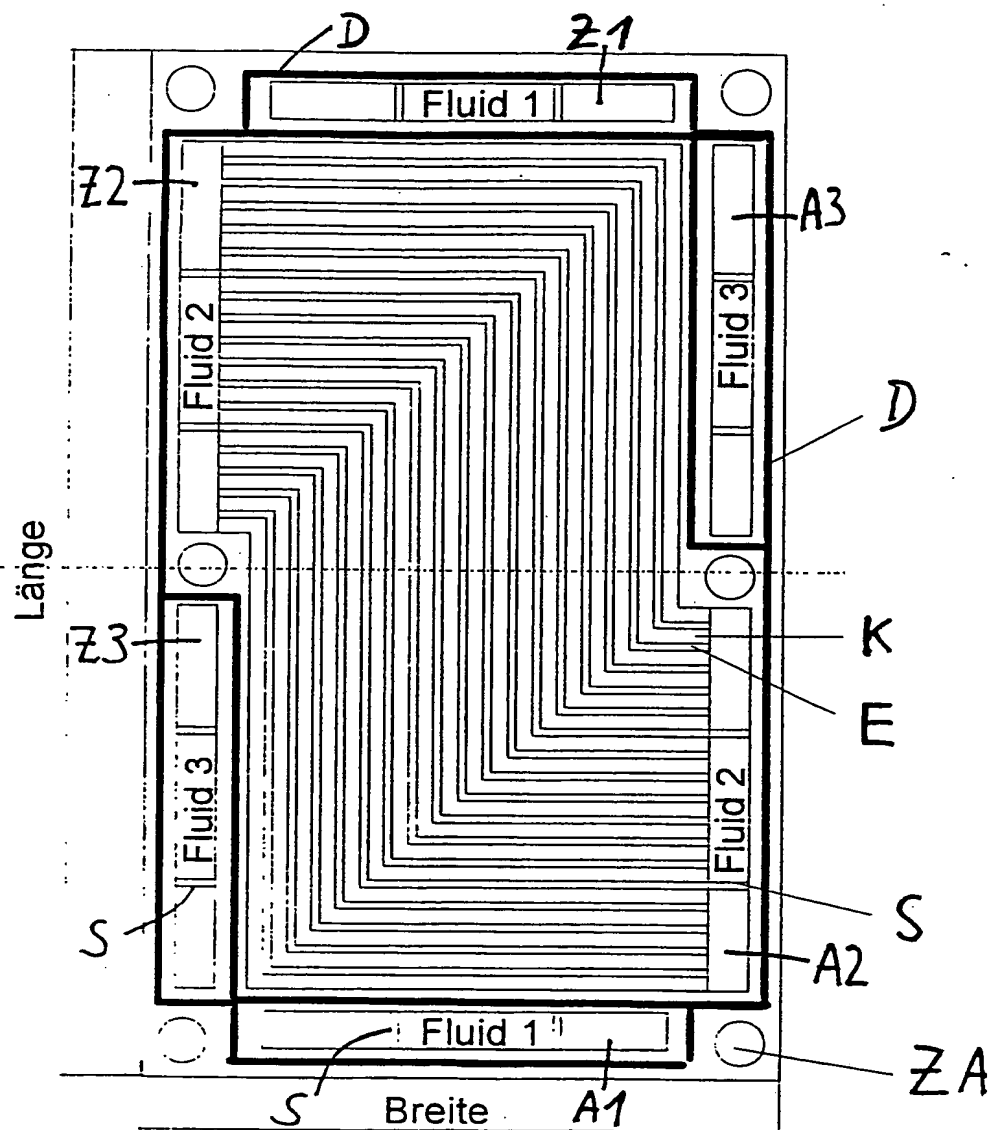


Fig. 2

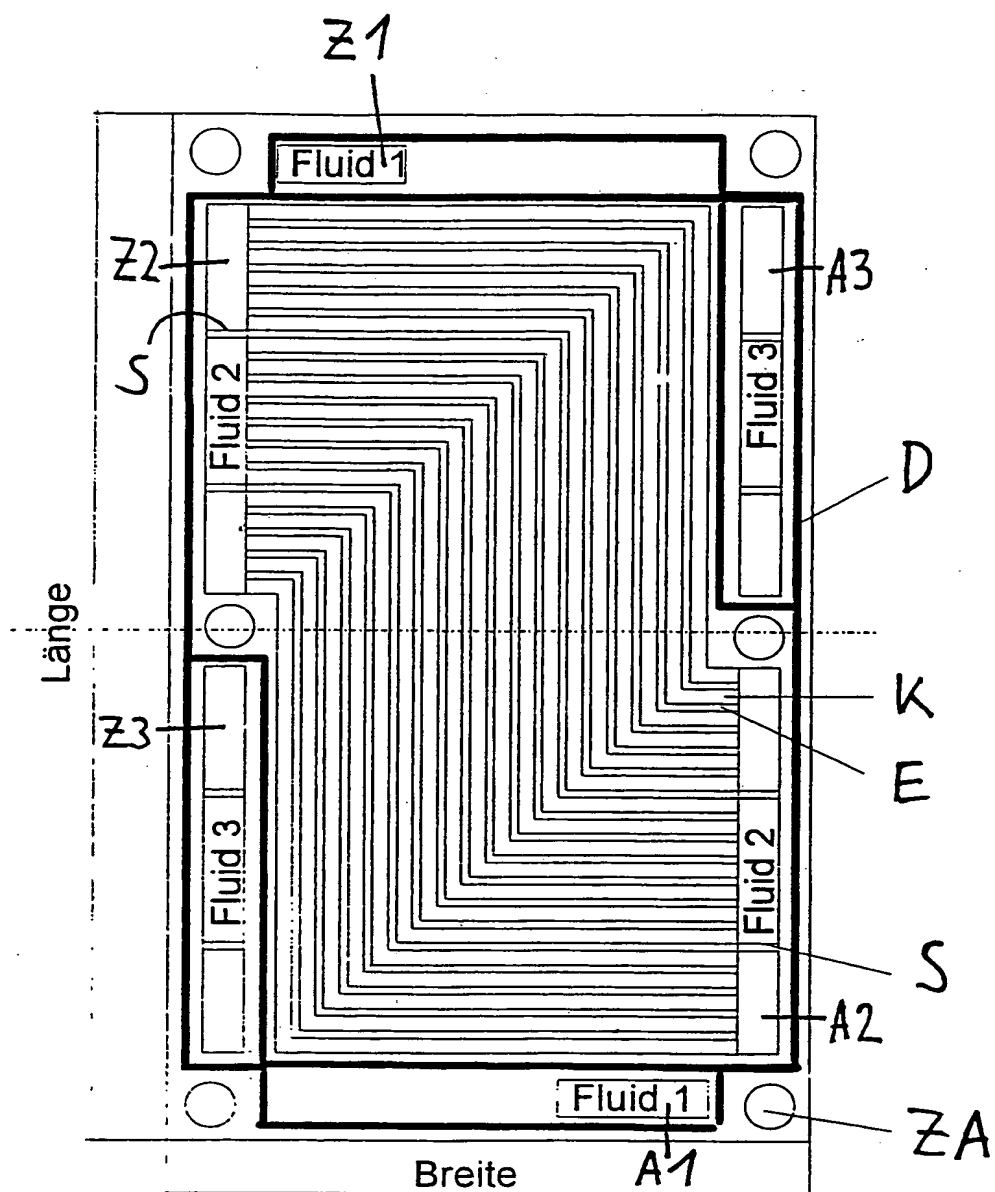


Fig. 3

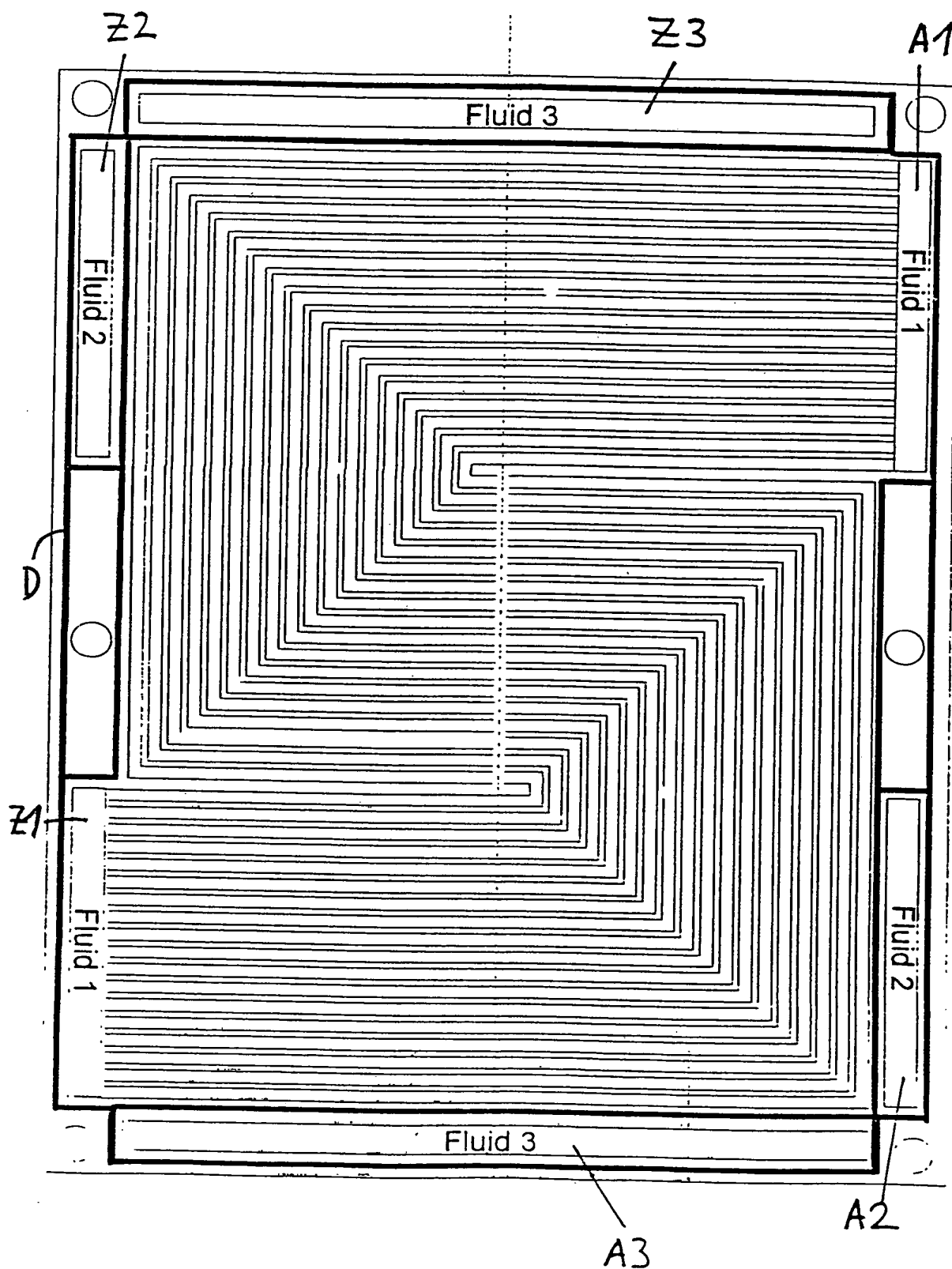
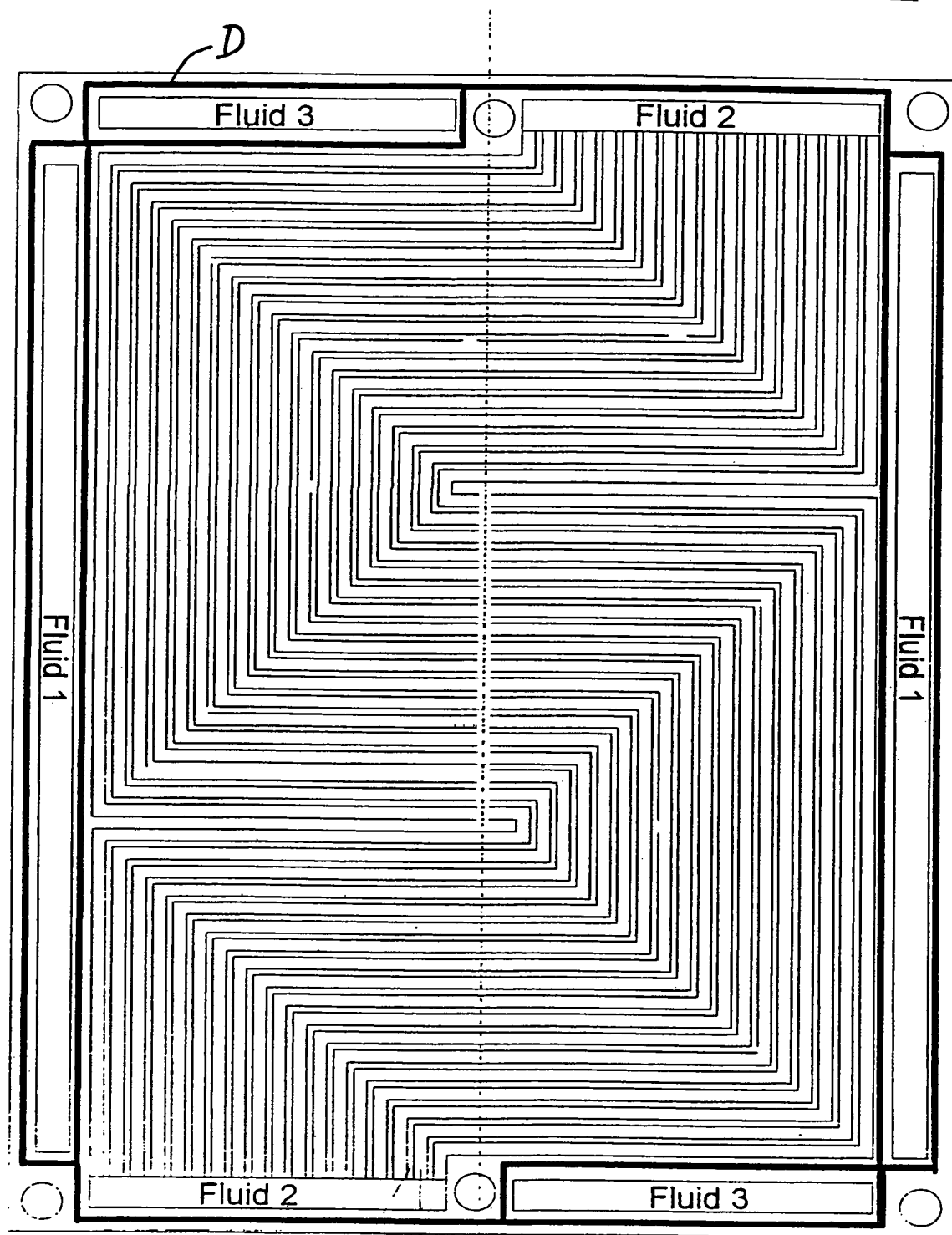


Fig. 4



E K D

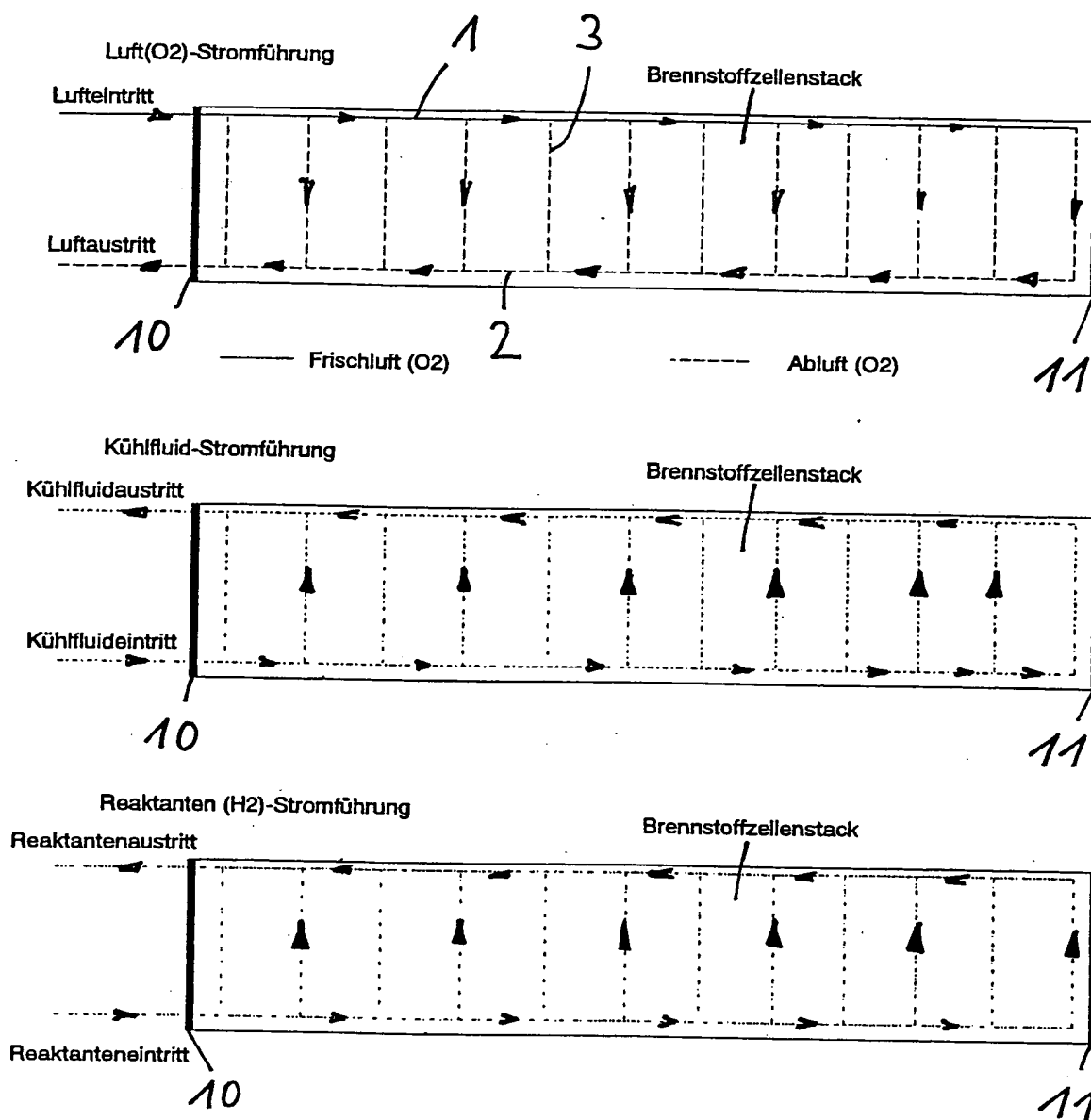


Fig. 5

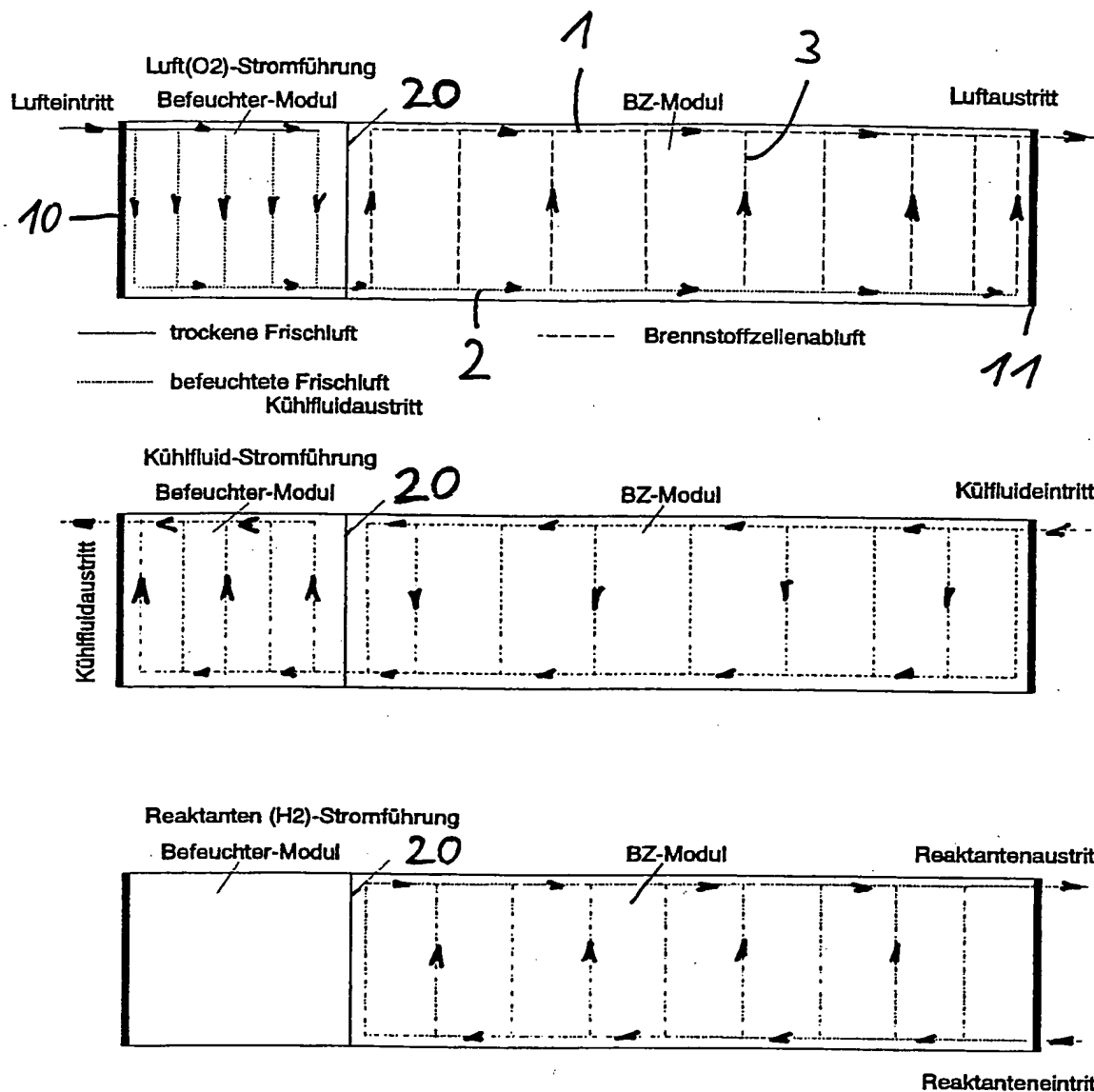


Fig. 6

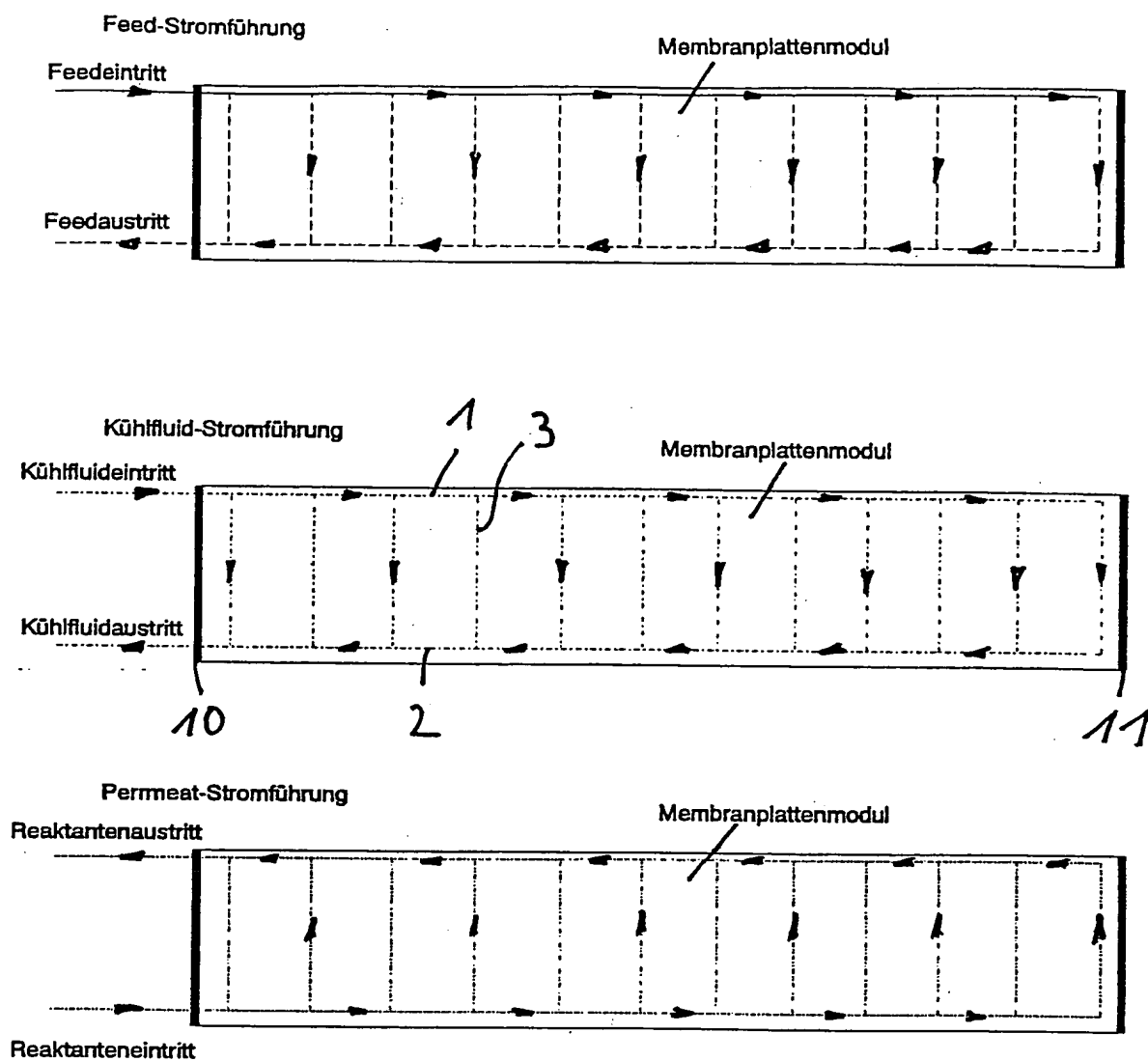


Fig. 7

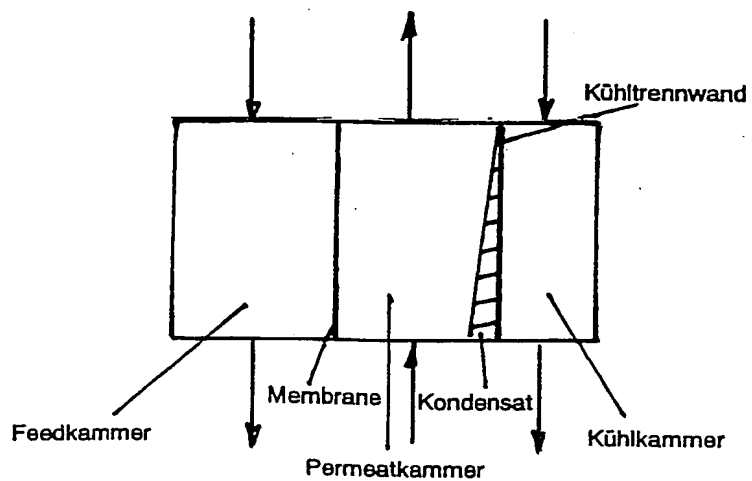


Fig. 8

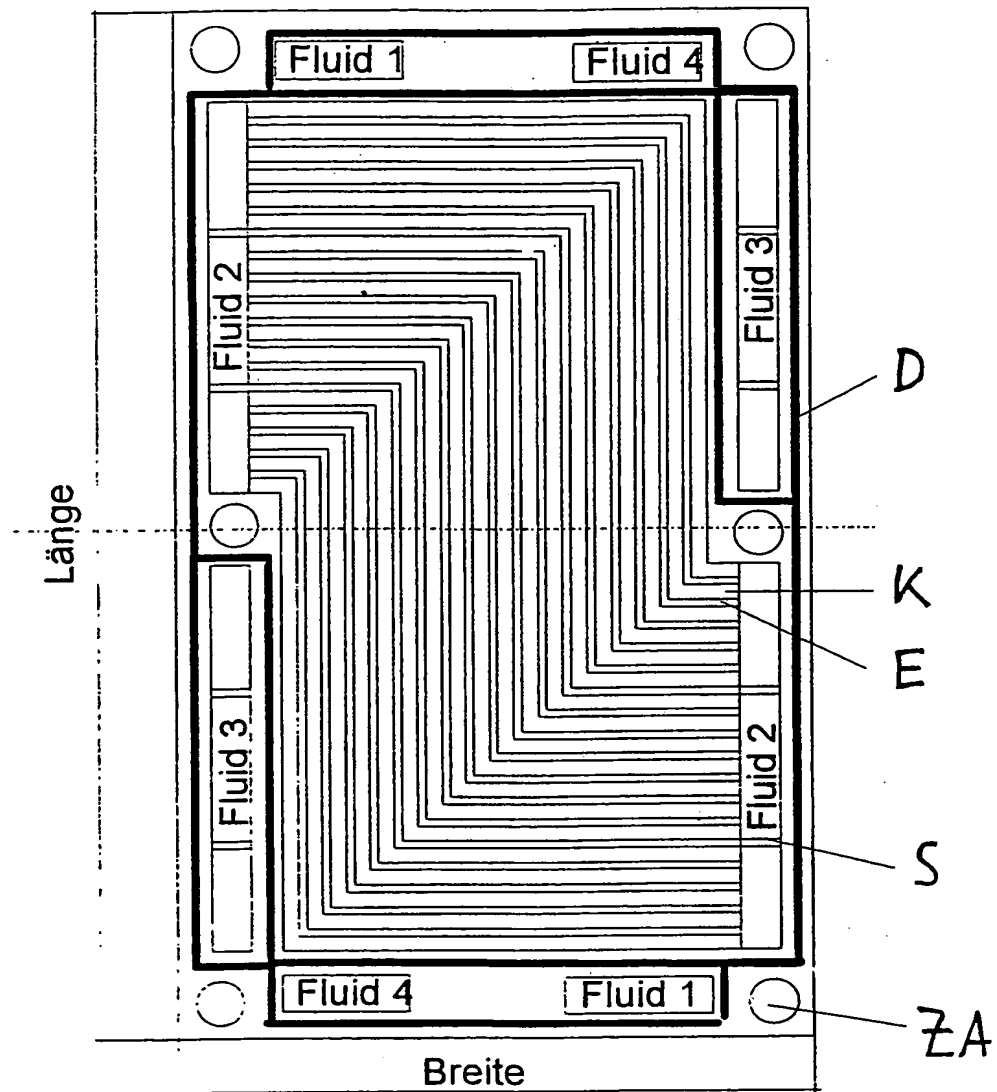
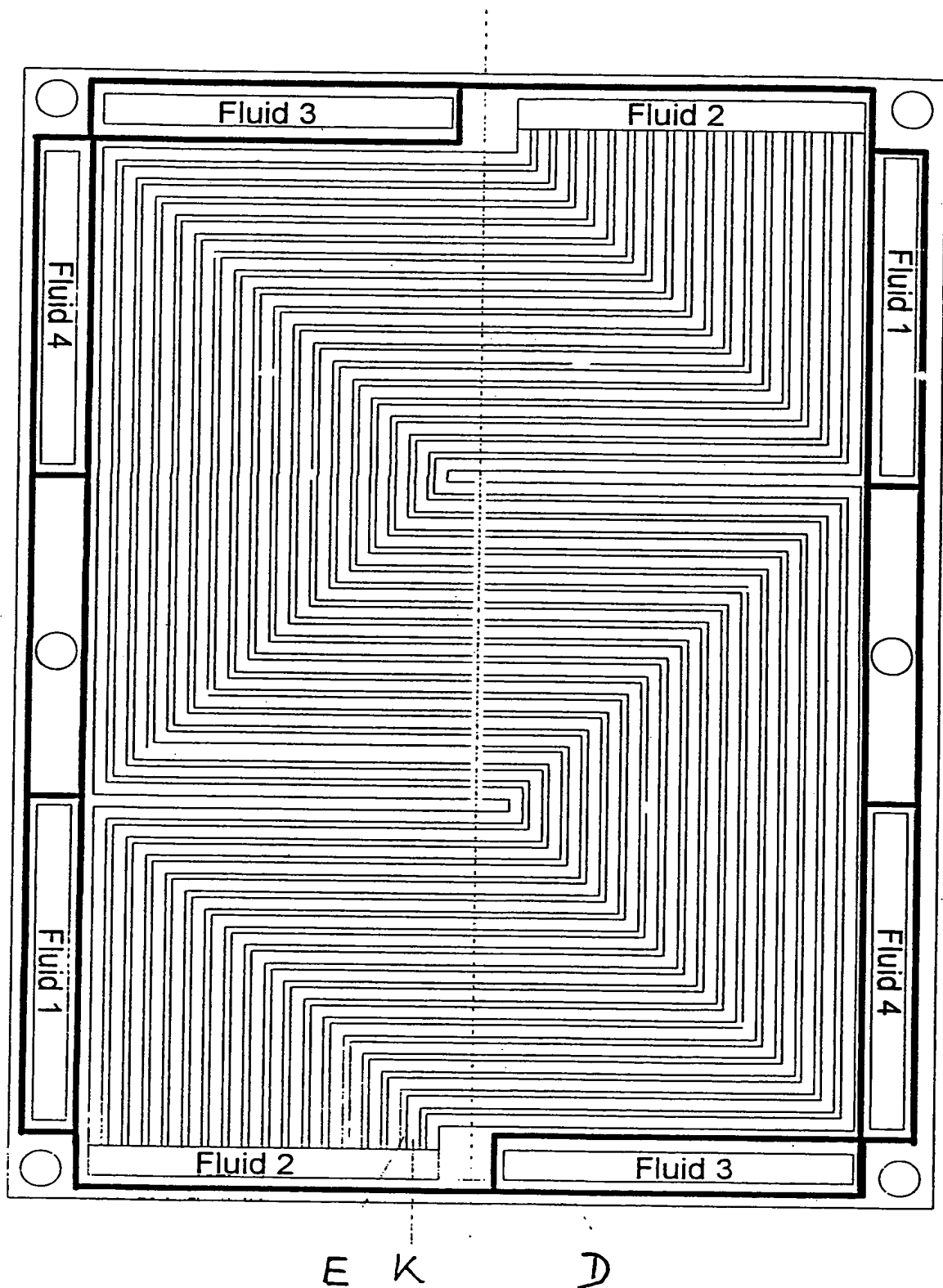


Fig. 9



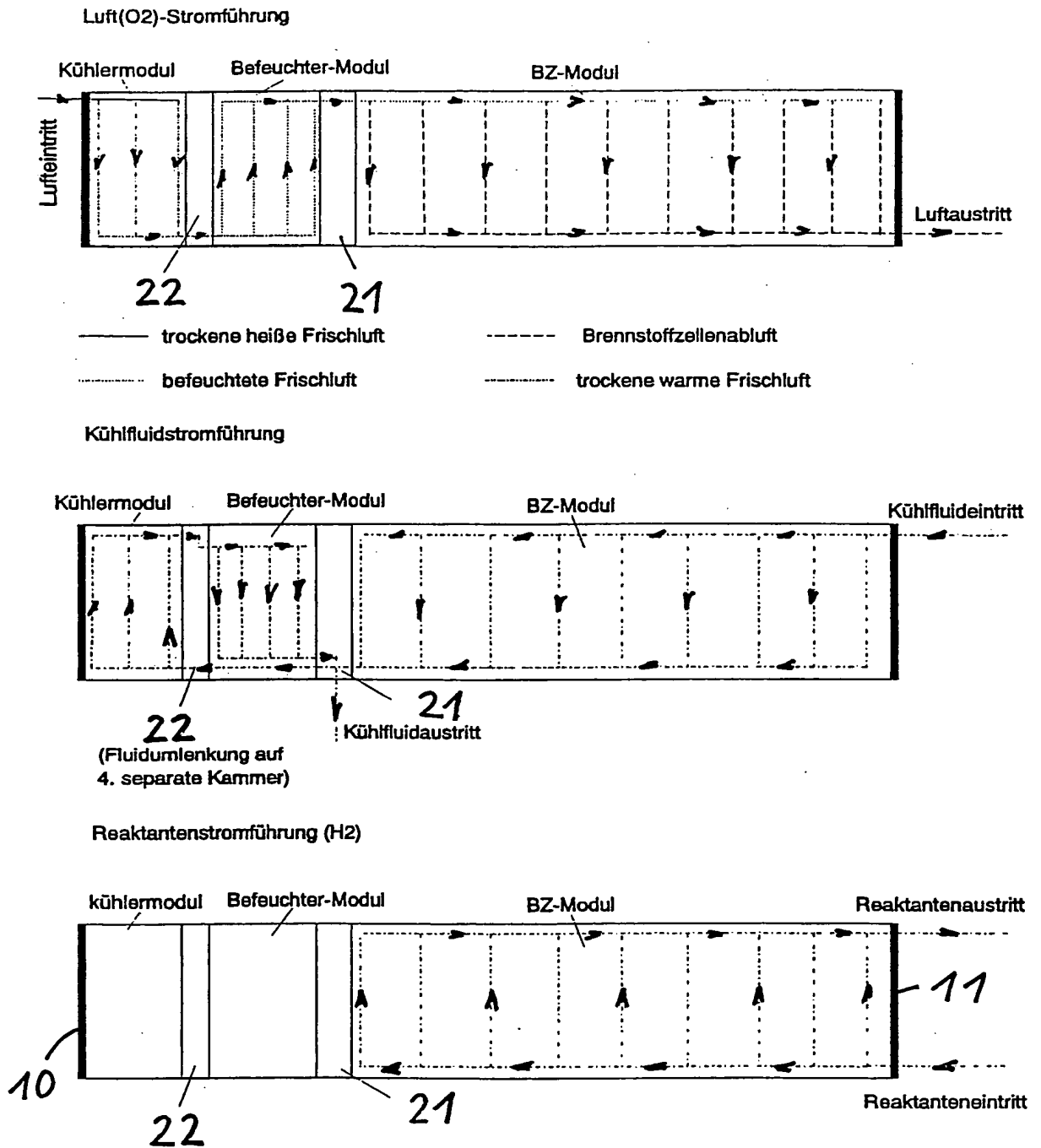


Fig. 10

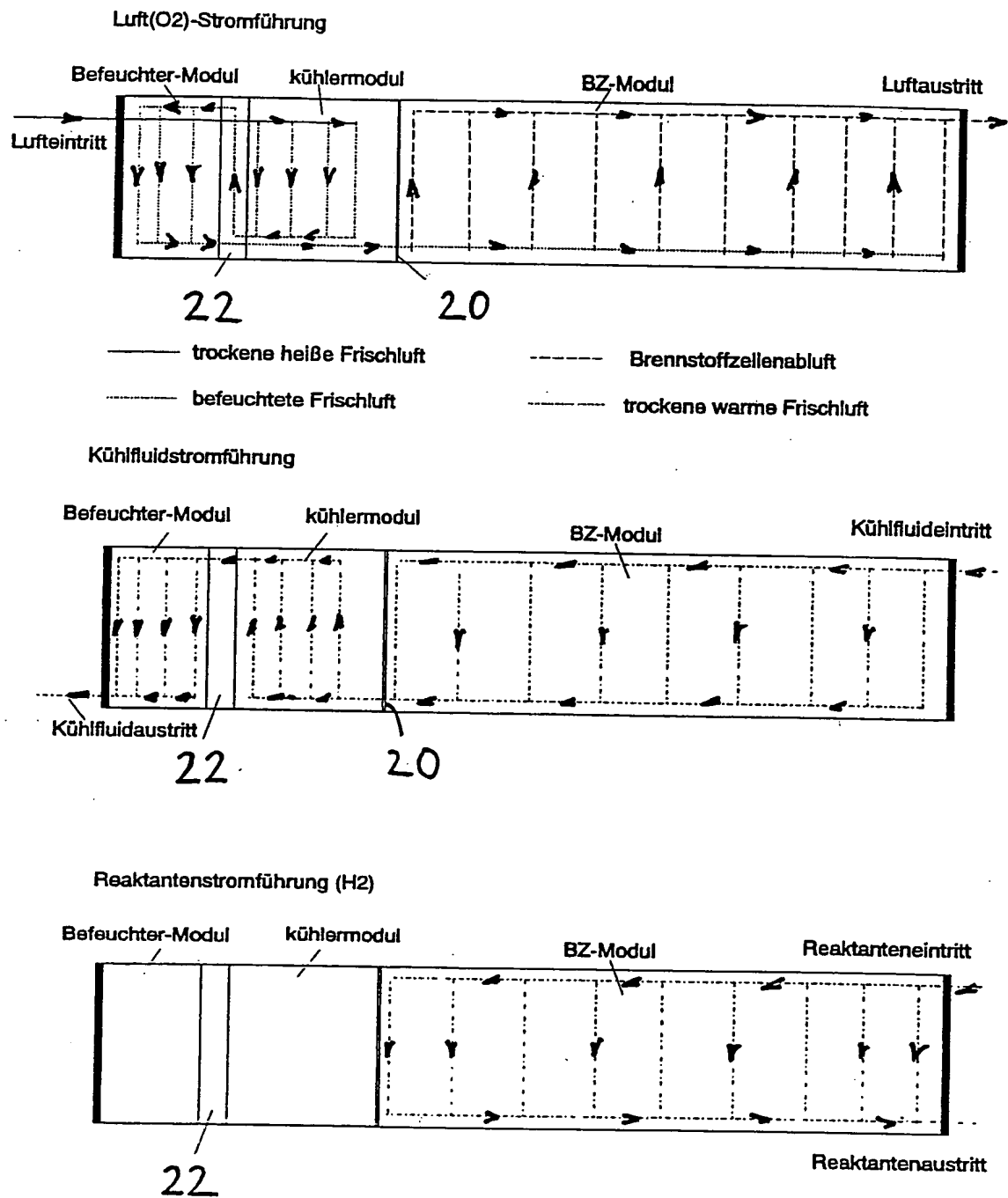


Fig. 11

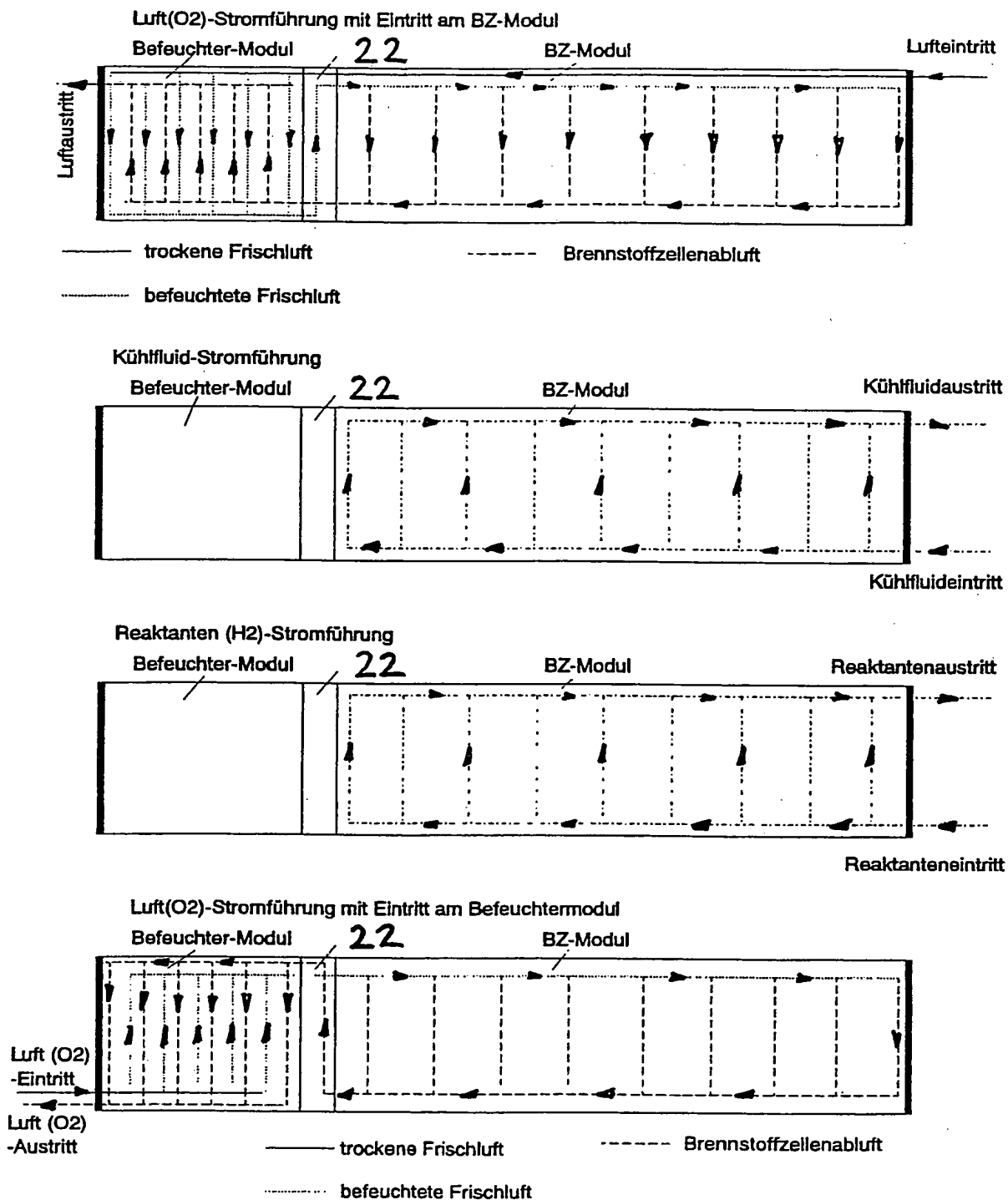


Fig. 12

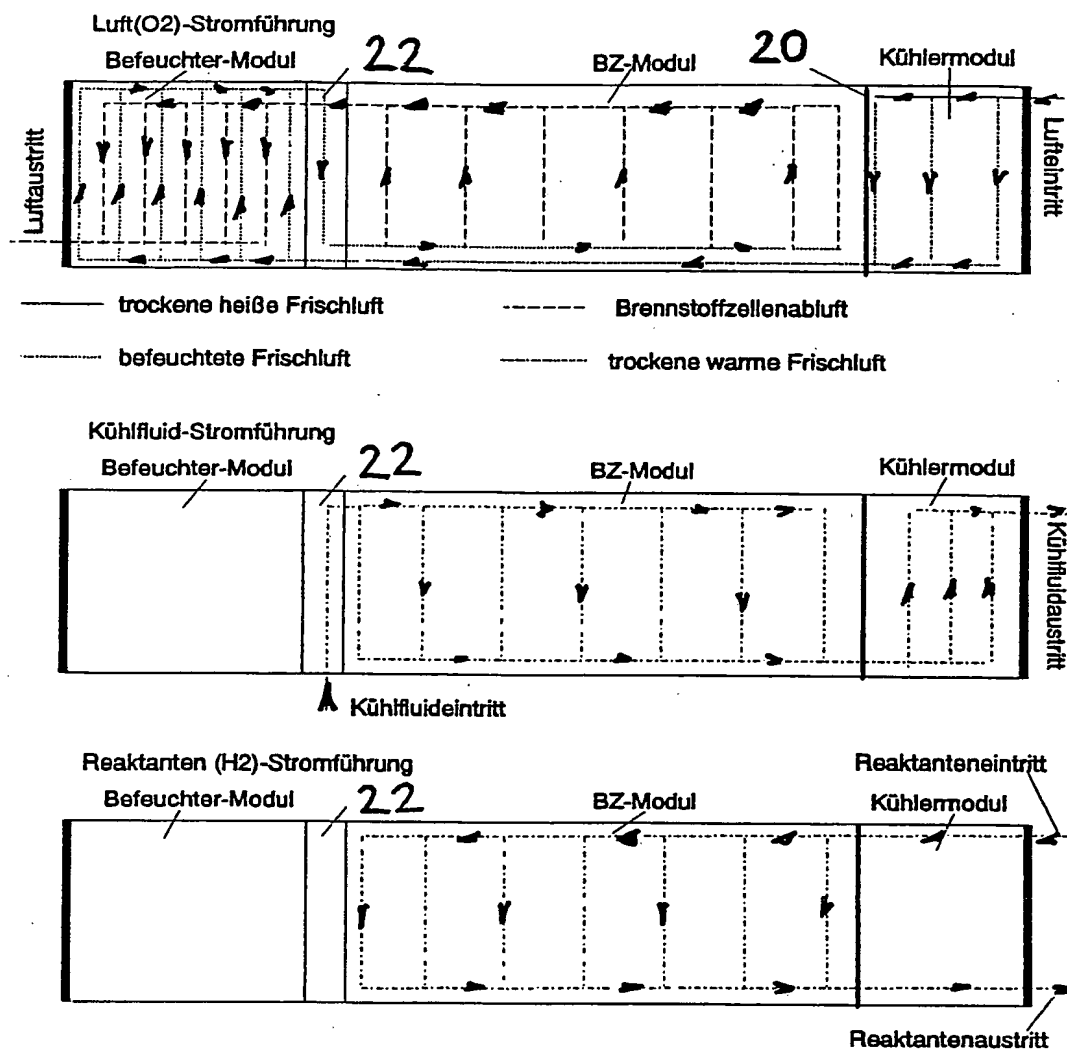


Fig. 13